

Klimatpåverkan av att pyrolysera dränerad torv – en konsekvens-LCA för användandet av biokol i betong

*Climate impact of drained peat pyrolysis
– a consequential LCA for usage of biochar in concrete*

Jesper Westerlin

Klimatpåverkan av att pyrolysera dränerad torv – en konsekvens-LCA för användandet av biokol i betong

Climate impact of drained peat pyrolysis
– a consequential LCA for usage of biochar in concrete

Jesper Westerlin

Handledare: Erik Dahlén, Stockholm Exergi
Biträdande handledare: Erik Anerud, institutionen för energi och teknik, SLU
Ämnesgranskare: Torun Hammar, institutionen för energi och teknik, SLU
Examinator: Åke Nordberg, institutionen för energi och teknik, SLU

Omfattning: 30 hp
Nivå, fördjupning och ämne: Avancerad nivå, A2E, teknik
Kurstitel: Examensarbete i energisystem
Kurskod: EX0724
Program/utbildning: Civilingenjörsprogrammet i energisystem 300 hp

Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2018
Serietitel: Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)
Delnummer i serien: 2018:09
ISSN: 1654-9392
Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: pyrolysis, dränerad torvmark, livscykelanalys, stycketorv, global uppvärmning, fjärrvärme

Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för energi och teknik

Förord

Detta arbete är ett examensarbete inom civilingenjörsprogrammet i energisystem vid Uppsala Universitet och Sveriges lantbruksuniversitet. Arbetet är gjort via Sveriges lantbruksuniversitet och har genomförts på Stockholm Exergi våren 2018.

Jag vill ge ett stort tack till min handledare Erik Dahlén som har gett mig möjligheten att göra detta examensarbete på Stockholm Exergi. Att undersöka klimatpåverkan i en sådan aktuell fråga som torv har varit otroligt intressant och lärorikt. Att dessutom undersöka frågan där energiutvinning sker via pyrolysning som är en av framtidens sätt att minska klimatpåverkan har varit väldigt givande.

Vill ge tack till min ämnesgranskare Torun Hammar som med sin kunskap inom livscykelanalys har ökat min förståelse avsevärt. Utan din hjälp hade examensarbetet inte fått samma kvalitet.

Vill ge tack till min handledare Erik Anerud som varit med och pushat från början. Fått läsa utkast och utkast för att förbättra rapporten. Utan ditt stöd hade rapporten inte alls blivit lika bra.

Vill speciellt tacka Fredrik Borg Dunge och Rita Larsson på Neova för deras hjälp med material, studiebesök och engagemang i detta arbete. Även till alla andra som har gett mig hjälp med data och information.

Vill ge tack till de examensstudenter och anställda som jag lärt känna på Stockholm Exergi. Det har gjort studierna otroligt mycket roligare att lära känna så många nya under detta halvår. Att dessutom få ha examensarbetet på samma plats som min vän Joakim har gjort tiden rullat iväg, både på rälsen och utanför.

Till sist vill jag tacka familj som varit med från början av studietiden och sen alla vänner jag lärt känna under alla dessa år. Det har varit en fantastisk tid tillsammans. Jag vill lämna med mitt favoritmotto som inspirerat mig i flera år.

Uppsala, Augusti 2018

Jesper Westerlin

Most of the time, the best moments come from the things we fear the most.

Abstract

In Sweden there is approximately 6.4 million hectares of peatlands, which is about 15 % of the total land area. A significant proportion of peatlands, 2,4 million hectares, is affected by human drainage to promote agriculture and forest production. The drained peatlands in Sweden emits a total of 15-25 million tons of carbon dioxide equivalents ($\text{CO}_{2\text{eq}}$), which is in line with emissions from all domestic traffic, 14.5 million tons of $\text{CO}_{2\text{eq}}$, and one third of Sweden's reported emissions in 2014, a total of 54.4 million tons $\text{CO}_{2\text{eq}}$.

The purpose of this study was calculating the climate impact of pyrolysis of drained peat with the use biochar in concrete. There the pyrolysis would start 2021 in Brista in a planned slow pyrolysis plant. The biochar was first used to adsorb CO_2 flue gas from combustion plants and thereafter three different uses of biochar was studied. The first one biochar substitute sand and smaller quantities of cement in concrete, the second one to substitute aggregate and smaller quantities of cement, and the last is to substitute only cement in smaller quantities. Smaller quantities in cement means that biochar substitute 0.1 % of the weight of the concrete. Life cycle assessment were used as the method to calculate the climate impact.

The result in this study is that drained peat can lead to a climate benefit and reduce global warming in a 100-year perspective. This happens when biochar adsorbs CO_2 from combustion gas and substitutes cement in smaller quantities. Biochar that is used to substitute aggregate and cement can lead to climate reductions, only when the peat was pyrolyzed from nutritious peatlands without forest and after-treated with afforestation with growth measures. The climate benefit is -34.7 - $(-22,6)$ kg $\text{CO}_{2\text{eq}}/\text{MWh}_{\text{heat}}$. Treating drained peatlands without forests to wetlands provide a climate benefit with -111.8 - (-82.9) kg $\text{CO}_{2\text{eq}}/\text{MWh}_{\text{heat}}$ and -137.6 - (-125.5) kg $\text{CO}_{2\text{eq}}/\text{MWh}_{\text{heat}}$ for nutrient-poor respectively nutritious peatlands.

The total climate benefit biochar has is $-661,9$ kg $\text{CO}_{2\text{eq}}/\text{tonne}$ dry peat when biochar substitutes cement, $-225,6$ kg $\text{CO}_{2\text{eq}}/\text{tonne}$ dry peat when biochar substitutes aggregate and cement, and $-203,7$ kg $\text{CO}_{2\text{eq}}/\text{tonne}$ dry peat when biochar substitutes sand and cement. More studies need to be researched in the subject of peat biochar and its uses in concrete. To pyrolyze peat from peatland Vännmuren can provide climate benefits in a 100-year perspective only if the peatland is after-treated with afforestation with growth measures, and biochar is used to replace cement in smaller quantities. The climate benefit is -109.3 - (-59.2) kg $\text{CO}_{2\text{eq}}/\text{MWh}_{\text{heat}}$.

Sammanfattning

I Sverige finns ca 6,4 miljoner hektar av torvmark, vilket är ungefär 15 % av landytan. En betydande andel av denna mark, 2,4 miljoner hektar, är påverkad av mänsklig dränering för att främja jordbruk- och skogsproduktion. En vanlig orörd torvmark växer generellt årligen då tillväxten är större än nedbrytningen. När torvmarken dikas avrinner mer vatten och leder till att mer syre tillförs djupare ner i marken, vilket gynnar rotsystemet. Detta leder till lägre torvtillväxt då tillväxten gynnas av syrefattig och våt miljö samt att nedbrytningen av torv ökar då mer syre tillförs. Resultatet är att nedbrytningen är större än tillväxten och att den dränerade torvmarken släpper ut mer växthusgaser till atmosfären. Den dikade torvtäckta marken i Sverige avger totalt 15–25 miljoner ton koldioxidekvivalenter ($\text{CO}_{2\text{ekv}}$), vilket är i nivå med utsläppen från all inrikestrafik, 17,4 miljoner ton $\text{CO}_{2\text{ekv}}$, och en tredjedel av Sveriges rapporterade utsläpp 2014, totalt på 54,4 miljoner ton $\text{CO}_{2\text{ekv}}$.

Stockholm Exergi är ett företag som producerar fjärrvärme, fjärrkyla och el till Stockholm. Energin som används kommer från flera olika bränslen och Stockholm Exergi arbetar aktivt med att minska klimatpåverkan i Stockholm. Stockholm Exergi har börjat undersöka hur pyrolysning kan bidra till att minska klimatpåverkan med olika bränslen som avloppsslam, halm, stallgödsel och torv.

Det överbegripande syfte med denna studie var att ta fram klimatpåverkan av pyrolysera dränerad torv med användning av biokol i betong. För att undersöka om bränslet torv kan minska klimatpåverkan vid pyrolysning. Användningen av torv skulle börja ske år 2021 i en planerad långsam pyrolysanläggning i Brista. Energiutvinning genom långsam pyrolys producerar värme och ett stabilt biokol. Det stabila biokolet undersöktes att användas i betong på tre olika sätt. Ena är att substituera sand och mindre mängd cement, andra är att substituera grus och mindre mängd cement, och det sista är att endast substituera cement i mindre mängder. I mindre mängder menas att biokolet ersätter cement i 0,1 % av betongens vikt. Innan användningen till betong kan biokolet ge adderad klimatnytta. Den klimatnyttan sker genom att biokol har en porös struktur och hög ytareal som kan användas för att adsorbera CO_2 i rökgaser från förbränningsanläggningar.

För att beräkna klimatpåverkan användes livscykelanalys som arbetsmetod med två olika tidsperspektiv, en på 20 år och en på 100 år. Livscykelanalysen (LCA) var en konsekvensanalys för att beräkna förändringen som blir med torvutvinning och pyrolysning år 2021. I LCA ingick även att undersöka konsekvensen att behandla dikade torvtäckta marker till våtmark eller beskogning. Konsekvenserna jämförs med ett referensscenario där den dikade marken skulle förbli orörd och fortsätta emittera växthusgaser, som kallas nettoeffekten. En negativ nettoeffekt ger en klimatnytta som minskar utsläppen till atmosfären och positiv nettoeffekt ökar utsläppen till atmosfären. Torvmarken som har undersökts är antingen en näringsrik eller näringsfattig torvmark samt har torvtäkten Vännmuren undersökts. Det är ifrån Vännmuren som styckestorven ska komma ifrån och pyrolyseras i Brista. Den producerade värmen från pyrolysen ersätter en marginalproduktionsmix med bioolja, pellets, skogsflis, avfall, värmepump

och direktvärme. Utsläppen från marginalproduktionsmixen ingår i referensscenariot och behandling av torvmarker. I pyrolysning av torv leder utsläpp som ingår i torvutvinningsscenarierna.

Torvutvinning av en torvtäckt sker ungefär i 20 år och efter det behandlas marken, antingen med återvätning till våtmark eller beskogning. Återvätning leder till att marken upptar CO₂ men läcker ut metangas. Beskogning leder till skogen upptar koldioxid och skapar en lagereffekt. Skogen ger dessutom en substitutionseffekt när avverkad biomassa används till pappersindustri, konstruktion och bioenergi. I fallet av beskogning kommer torv finnas kvar på marken för att behålla näringsämnen till skogstillväxt, exempelvis kväve. Den kvarvarande torven kommer emittera växthusgaser tills all torv är nedbrutet.

Resultatet av denna studie är att dränerad torv kan leda till en klimatnytta och minska den globala uppvärmningen i ett 100-årigt tidsperspektiv. Det sker när biokol adsorberar CO₂ från förbränningsgas och ersätter cement i mindre mängder. Det fanns endast ett scenario där biokol substituerar grus och cement som ledde till en klimatnytta. Det var när torv pyrolyseras från näringsrik torvmark utan skog och efterbehandlas med beskogning med tillväxtåtgärder. Klimatnyttan är -34,7-(-22,6) kg CO_{2ekv}/MWh_{värme}. Den största klimatnyttan vid efterbehandling sker när marken beskogas med tillväxtåtgärder, sen kommer beskogning och sist återvätning till våtmark. Dikade torvmarker behöver inte utvinnas av torv utan kan även behandlas. Att behandla dikade torvmarker utan skog med återvätning till våtmark ger en klimatnytta och gynnar samtidigt biodiversitet och bidrar till klimatmålet ”Myllrande våtmarker”. Klimatnyttan är -111,8-(-82,9) kg CO_{2ekv}/MWh_{värme} och -137,6-(-125,5) kg CO_{2ekv}/MWh_{värme} för näringsfattig respektive näringsrik torvmark.

Det producerade biokolet ger adderad klimatnytta genom att tränga bort andra material i betong som har större miljöpåverkan samt att adsorbera CO₂ från förbränningsgas. Totala klimatnyttan för biokolet är -661,9 kg CO_{2ekv}/ton TS torv när biokol substituerar cement, -225,6 kg CO_{2ekv}/ton TS torv när biokol substituerar grus och cement och -203,7 kg CO_{2ekv}/ton TS torv när biokol substituerar sand och cement. Biokol i betong behöver forskas mer noggrant för att säkerställa klimatnyttan. Biokolet har större potential att göra klimatnytta i betong med mindre inbladning av fyllnadsmaterial som grus och sand, ner till 1 % av betongens vikt. Den större potentialen kommer ifrån att biokol förbättrar isoleringen och bidrar till energieffektivisering i byggnader. Detta är inte något som har undersöks i denna studie men skulle kunna leda till ytterligare klimatminskningar.

Att pyrolysera styckestorv från Vännmuren kan ge klimatnytta i ett 100-årigt tidsperspektiv om torvtäkten beskogas med tillväxtåtgärder och biokol adsorberar koldioxid och sedan ersätter cement i mindre mängder. Klimatnyttan är -109,3-(-59,2) kg CO_{2ekv}/MWh_{värme}. Att använda biokolet till att ersätta grus och cement eller sand och cement ger inte en tillräcklig stor klimatnytta för att få en negativ nettoeffekt på Vännmuren. Inte heller andra efterbehandlingsmetoder som beskogning eller återvätning.

Exekutiv sammanfattning

Det övergripande syftet med denna studie var att ta fram klimatpåverkan av pyrolysera dränerad torv med användning av biokol i betong. För att undersöka om bränslet torv kan minska klimatpåverkan vid pyrolysning. Användningen av torv skulle börja ske år 2021 i en planerad långsam pyrolysanläggning i Brista.

Resultatet av denna studie är att dränerad torv kan leda till en klimatnytta och minska den globala uppvärmningen i ett 100-årigt tidsperspektiv. Det sker när biokol adsorberar CO₂ från förbränningsgas och ersätter cement i mindre mängder. Det fanns ett scenario där biokol substituerar grus och cement som led till en klimatnytta. Det var när torv pyrolyseras från näringsrik torvmark utan skog och efterbehandlas med beskogning med tillväxtåtgärder. Klimatnyttan är -34,7-(-22,6) kg CO_{2ekv}/MWh_{värme}.

Den producerade biokolet ger adderad klimatnytta genom att tränga bort andra material i betong som har större miljöpåverkan samt att adsorbera CO₂ från förbränningsgas. Totala klimatnyttan för biokolet är -661,9 kg CO_{2ekv}/ton TS torv när biokol substituerar cement, -225,6 kg CO_{2ekv}/ton TS torv när biokol substituerar grus och cement och -203,7 kg CO_{2ekv}/ton TS torv när biokol substituerar sand och cement. Biokolet har större potential att göra klimatnytta i betong med mindre inbladning av fyllnadsmaterial som grus och sand, ner till 1 % av betongens vikt. Den större potentialen kommer ifrån att biokol förbättrar isoleringen och bidrar till energieffektivisering i byggnader. Detta är inte något som har undersökts i denna studie men skulle kunna leda till ytterligare klimatminskningar.

Att pyrolysera styckestorv från Vännmuren kan ge klimatnytta i ett 100-årigt tidsperspektiv om torvtäkten beskogas med tillväxtåtgärder och biokol adsorberar koldioxid och sedan ersätter cement i mindre mängder. Klimatnyttan är -109,3-(-59,2) kg CO_{2ekv}/MWh_{värme}. Att använda biokolet till att ersätta grus och cement eller sand och cement ger inte en tillräcklig stor klimatnytta för att få en negativ nettoeffekt på Vännmuren. Inte heller andra efterbehandlingsmetoder som beskogning eller återvätning till våtmark.

Innehållsförteckning

1.	Inledning	1
1.1	Syfte.....	3
1.2	Frågeställningar	3
1.3	Avgränsningar	3
1.4	Disposition	3
2.	Teoretisk bakgrund.....	4
2.1	Global uppvärmning och växthusgaser	4
2.2	Sveriges Energisystem/Stockholms fjärrvärmenät	4
2.3	Stockholm Exergi	6
2.4	Livscykelanalys	7
2.5	Torv och torvmark.....	8
2.5.1	Dränerad torvmark	9
2.5.2	Växthusgasbalansen på torvmark	11
2.5.3	Torvutvinning i LCA	11
2.6	Pyrolys	12
2.7	Biokol	13
2.8	Behandling av dikade torvmarker	15
2.8.1	Produktion och tillväxt av skog	15
2.8.2	Behandling och efterbehandling via beskogning på torvmarker	15
2.8.3	Behandling och efterbehandling via återvätning	16
2.9	Torvtäkten Vännmuren	17
3.	Metod.....	18
3.1	Livscykelanalys	18
3.2	Systemgräns.....	19
3.3	Scenarier	19
3.4	Datainsamling.....	20
3.4.1	Dränerad torvmark	20
3.4.2	Arbetsmaskiner och lagring	23
3.4.3	Transport.....	23
3.4.4	Pyrolys.....	24
3.4.5	Referensenergi	25
3.4.6	Biokol.....	26
3.4.7	Skog	28
3.5	Vännmuren.....	33
3.6	Känslighetsanalys.....	33
4.	Resultat	34
4.1	Torvmark i ett 20 år perspektiv	34

4.2	Nettoeffekten i 20 årigt tidsperspektiv	37
4.3	Torvmark i ett 100-årigt tidsperspektiv	41
4.4	Nettoeffekten i ett 100-årigt tidsperspektiv	44
4.5	Torvutvinning på Vännmuren	48
4.6	Känslighetsanalys.....	51
5.	Diskussion	52
5.1	Analys av resultat	52
5.1.1	Kan torvutvinning resultera i en klimatnytta?	52
5.1.2	Kan långsam pyrolys av dränerad torv resultera i en klimatnytta?	53
5.1.3	Påverkar torvmarkens egenskaper effekten på klimatnyttan?	54
5.1.4	Påverkas klimatnyttan med val av efterbehandlingsmetod?	54
5.2	Osäkerheter och känslighet	54
5.3	Generell diskussion	55
5.4	Rekommendationer.....	56
6.	Slutsats	57
7.	Litteraturförteckning.....	58
	Bilaga 1 Marginalel.....	63
	Bilaga 2. Årlig tillväxt på dikad och odikad torvmark som är produktiv skogsmark.	64
	Bilaga 3. Data till ståndortsindex och gallringsprogrammet INGVAR	65
	Bilaga 4. Resultat för skogsbevuxen torvmark	66
	Bilaga 5. Känslighetsanalys	70

1. Inledning

Människans sätt att leva på jorden och användning av naturresurser har förändrats radikalt de senaste 150–200 åren. Det har resulterat i större utsläpp av växthusgaser, som med stor sannolikhet lett till den globala uppvärmningen (IPCC, 2014). Den ökade andelen växthusgaser har framförallt kommit från förbränning av fossila bränslen, sättet att använda markytan och nya metoder inom jordbruket (Tellus, 2011). Ökad mängd växthusgaser i atmosfären leder till förstärkt växthuseffekt som ändrar jordens värmebalans, där mer värmestrålning absorberas och temperaturen stiger (SMHI, 2015).

I slutet av år 2015 enades världens länder om ett nytt globalt klimatavtal, Parisavtalet. Syftet med Parisavtalet är att förhindra allvarliga konsekvenser för människa och natur. Avtalet börjar gälla senast år 2020 och är bindande för att den globala temperaturökningen ska hållas långt under 2 grader jämfört med förindustriell nivå (Förenta Nationerna, 2015). Alla länder ska arbeta för att temperaturökningen ska stanna under 1,5 grader för att förhindra konsekvenser på klimatkänsliga ekosystem som korallrev, smältande Arktis samt kustnära samhällen och småöar till havs sjunker under havsytan (Proposition 2016/17:146).

Enligt Proposition 2016/17:146 är klimatmålen att tills år 2045 inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären och att åren efter det ha negativa utsläpp. Inga nettoutsläpp av växthusgaser, ett klimatneutralt Sverige, kan nås genom att minska de stora inhemska utsläppen och ökat nettoupptag av koldioxid i mark och skog. Dessutom kan kvarvarande utsläppen balanseras med utsläppsminskningar i andra länder (Naturvårdsverket, 2013).

Enligt Parisavtalet artikel 5 bör länderna vidta åtgärder för att bevara kolsänkor samt om möjligt förstärka och förbättra kolsänkor (Förenta Nationerna, 2015). Skogs- eller torvmarker kan utgöra en kolsänka om det sker ett nettoupptag av koldioxid. I Sverige utgör ca 6,4 miljoner hektar av torvmark, ungefär 15 % av Sveriges yta. En betydande andel av dessa, drygt 2,4 miljoner hektar, är påverkad av dränering (Naturvårdsverket, 2016). Dräneringen har varit en mänsklig handling för att leda bort oönskat vatten för att främja jordbruk- och skogsproduktion. Efter dräneringen blir den torvtäckta marken en kolkälla, där det sker ett nettoutsläpp av koldioxid till atmosfären (De Jong et al., 2015). Den dikade torvtäckta marken i Sverige avger totalt 15–25 miljoner ton koldioxidekvivalenter (Mton CO_{2ekv}), vilket är i nivå med utsläppen från all inrikestrafik, 17,8 Mton CO_{2ekv} och en tredjedel av Sveriges rapporterade utsläpp av växthusgaser 2014, totalt 54,4 Mton CO_{2ekv} (Lundblad, et al., 2016).

Stockholm Exergi är ett företag som producerar fjärrvärme, fjärrkyla och el till Stockholm. Energin kommer från bland annat biobränslen, biooljor, avfalls- och returbränslen, värme i avloppsvatten, spillkyla och fossila bränslen. Värmen distribueras via fjärrvärme till över 800 000 människor och fjärrvärmenätet är även ihopbyggt med både Norrenergi och Söderenergi för att möjliggöra samarbete mellan fjärrvärmenäten i Stockholmsregionen. Just nu försöker Stockholm Exergi att fasa ut kolet och målet är att

vara fossilfria i sin egen verksamhet till år 2022. Där det grundas från regeringens klimatmål att innan år 2045 inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären samt att åren efter det ha negativa utsläpp (Proposition 2016/17:146).

Detta examensarbete är en livscykelanalys av ett nytt bränsle för Stockholm Exergi, i form av dränerad torv. Livscykelanalys, LCA, är en av flera verktyg för att bedöma en produkts miljöpåverkan. LCA är en metod för att beräkna miljöpåverkan av en produkt från råvaruutvinning, tillverkningsprocess och användning till avfallshantering. I en LCA kan man undersöka en eller flera olika miljöpåverkanskategorier. För att undersöka klimatpåverkan för växthuseffekt och uppvärmning kan global warming potential användas (Bauman & Tillman, 2004).

Detta examensarbete grundas från teorin att energiutvinning av den dränerade torven kan minska de totala utsläppen av växthusgaser. Dränerad torv kan energiutvinnas på flera olika sätt, bland annat genom förbränning eller pyrolysning. Vid en förbränning skulle all det lagrade kolet bli koldioxid och förstärka växthuseffekten. Däremot med en pyrolysning släpps inte lika mycket koldioxid ut till atmosfären, utan en del kol stannar kvar i ett stabilt biokol. Vid långsam pyrolysning bildas primärt biokol, gas och värme. Processen kan styras för att maximera önskade produkter, till exempel biokol och värme. Det producerade biokolet är mycket stabilt, och kan läggas tillbaka i marken som kolsänka. Biokolet kan även ge en adderad miljönytta genom att tränga undan CO₂-adderande material, till exempel substansämnen i betong (Bianco, et al., 2017). På detta sätt kan betongen minska sin klimatpåverkan. Pyrolysning skulle då kunna ge mer klimatnytta än förbränning och leda till större minskning av växthuseffekten.

Pyrolysning och adderade miljönyttor av biokol är ett nytt område där det saknas forskning. Kunskapen saknas vad klimatpåverkan blir när ett bränsle som har långsam tillväxt pyrolyseras. Denna studie är ett bidrag för att öka kunskapen.

1.1 Syfte

Syftet med detta arbete är att undersöka klimatnyttan vid produktion av biokol genom långsam pyrolys av dränerad torv samt den efterföljande behandlingen av torvtäkten. Det producerade biokolet ska användas i betong.

1.2 Frågeställningar

Mer specifikt studeras följande frågeställningar.

1. Kan läckaget av växthusgaser från dikade torvtäckta marker minska genom torvutvinning och efterföljande behandling?

- Kan torvutvinning resultera i en klimatnytta?
- Kan långsam pyrolys av dränerad torv resultera i en klimatnytta?
- Påverkar torvmarkens egenskaper effekten på klimatnyttan?
- Påverkas klimatnyttan med valet av efterbehandlingsmetod?

2. Vilken klimatnytta finns det för brytning av styckestorv vid Vännmuren för pyrolysning vid Bristaverket, Märsta?

1.3 Avgränsningar

Detta arbetets avgränsningar är att undersöka dränerad torv som energiutvinns med långsam pyrolys. Andra energiutvinningsprocesser som förbränning och torrefiering exkluderas. Den enda torven som undersöks är mänsklig påverkad torv, dränerad torv. Orörda torvmarker är inte med i denna studie.

Systemstudien genomförs med Svealand och Vännmuren i södra Gävleborgs län som geografisk avgränsning. Olika egenskaper på dränerad torv som undersöks är näringsfattig och näringsrik torvmark, där dräneringstillståndet kommer att redovisas som ett intervall.

1.4 Disposition

Rapporten är utformad med först en teoretisk bakgrund som ger fördjupning inom bland annat livscykelanalys, dränerad torv, torvutvinning, pyrolysning, biokol och efterbehandling av torvtäkter. Därefter kommer metod och datainsamlingen som innehåller antaganden och data som använts i undersökningen. Efter metoden kommer resultatet med efterföljande diskussion och analys. Till sist är det slutsats, källförteckning och bilagor.

2. Teoretisk bakgrund

2.1 Global uppvärmning och växthusgaser

Människan har sen industrialiseringen ändrat sitt sätt att leva på jorden som har lett till att de mänskliga utsläppen av växthusgaser har ökat. Den atmosfäriska koncentrationen av växthusgaserna koldioxid, metangas och lustgas är högre nu än de senaste 800 000 åren. Den främsta bidragande orsaken till klimatförändringen är ekonomisk drivning och populationstillväxt. Under de senaste årtiondena har förändringar i klimatet påverkat natur och människan på alla kontinenter och hav. Påverkan är orsakad av den observerade klimatförändringen och uppvisar natur och människans känslighet till förändrat klimat. Några klimatändringar som har observerats sedan år 1950 är följande: minskning av extremt kalla temperaturer, ökning av extrema varma temperaturer, ökad havsnivå och mer extrema nederbördsperioder i ett antal regioner (IPCC, 2014).

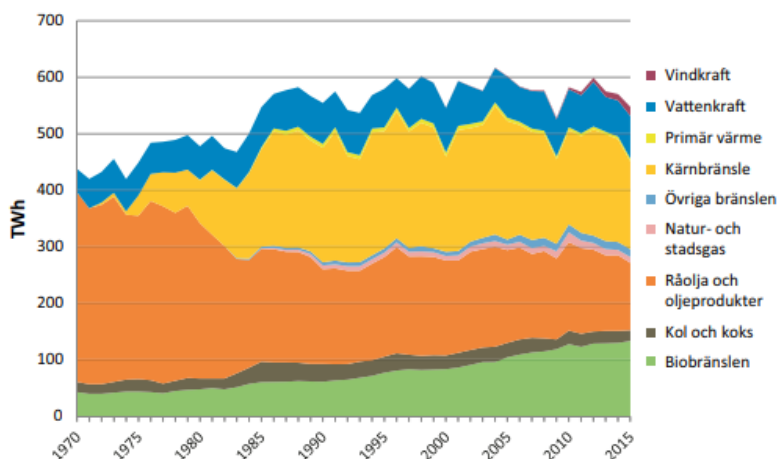
Växthusgaser som koldioxid (CO_2), metangas (CH_4) och lustgas (N_2O) absorberar infraröd strålning. Absorbering av strålningen gör att balansen mellan energin absorberad av jorden och emitterad av den ändras. De olika växthusgaserna har olika kapacitet att absorbera strålning och därmed olika bidrag till uppvärmning av atmosfären. CH_4 och N_2O absorberar strålning mycket mer effektivt än CO_2 . Global warming potential (GWP) är ett mått för att uttrycka växthusgasens potential till uppvärmning. Växthusgaser har olika livslängder i atmosfären vilket leder till att deras potential är beroende av tidshorisonten. De olika standarderna av GWP på olika tidshorisonter är utvecklade av Förenta Nationernas Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Bauman & Tillman, 2004).

Ett fortsatt växthusgasutsläpp kommer medföra ytterligare uppvärmning på jorden och ge långvariga effekter i klimatsystemet, som i sin tur ökar sannolikheten för allvarliga och irreversibla effekter på människan och ekosystem (IPCC, 2014). För att minska klimatförändringens risker behöver växthusgaser minska och ett ökande upptag av kol. Åtgärder att öka inbundet kol kan ske genom två sätt. Genom att öka nettofotosyntesen eller att förändra markanvändningen för att minska markkolets nedbrytningshastighet (Cederberg, et al., 2012).

2.2 Sveriges Energisystem/Stockholms fjärrvärmesät

Sveriges energisystem är delvis grundat på inhemska förnybara energikällor som vind, vatten och biobränsle. Energitillförseln sker också genom import av kärnbränsle, fossila bränslen och biodrivmedel. Där kärnbränsle går till elproduktion i kärnkraftsreaktorer. Fossila bränslen som olja och naturgas och biodrivmedel går till transportsystemet. Den svenska elproduktionen består av mestadels vattenkraft och kärnkraft. Utbyggnaden av vindkraft ökar stabilt och biobränsleanvändningen ökar för el och värmeproduktion (Energimyndigheten, 2017a).

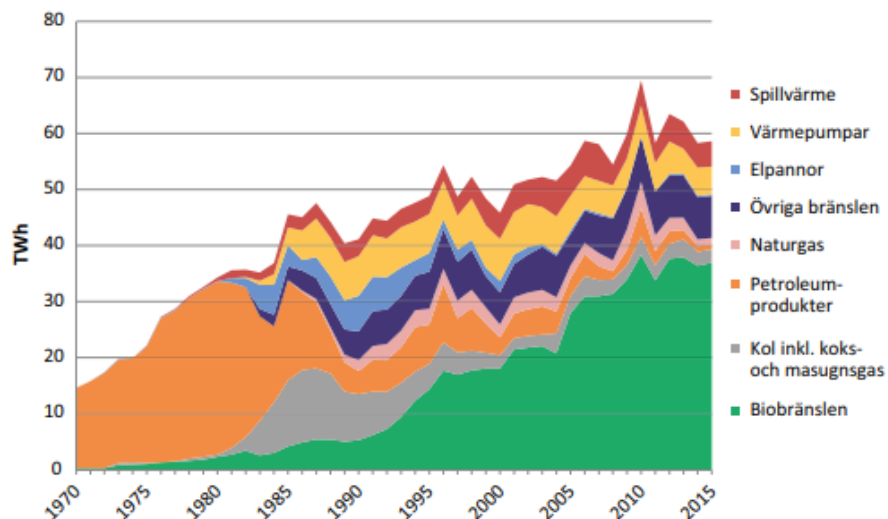
Sveriges energitillförsel har sen 70-talet ökat tillförseln av förnybara energivaror som biobränslen, vattenkraft och vindkraft samtidigt som fossila energivaror som oljeprodukter och råolja har minskat (Figur 1). Tillförseln från kärnbränsle ökade från 70-talet till mitten av 80-talet och har sedan haft en relativ jämn nivå. Från kärnbränsle omvandlades ca 36 % till el och resterande blev omvandlingsförluster. De största sektorer som använder biobränslen är fjärrvärmesektorn och industrisektorn, som använder ca 70 %. Transport, elproduktion och bostäder och service använder resterande 30 % (Energimyndigheten, 2017a).



Figur 1. Total tillförd energi 1970–2015 i Sverige, TWh (Energimyndigheten, 2017a).

Sveriges energianvändning kan delas upp i tre sektorer: transportsektorn, industrisektorn och bostäder och servicesektorn. I transportsektorn är den största andelen i sektorn fossil men består även av el och en växande del biodrivmedel. Den största delen av Sveriges fossila användning sker i transportsektorn. I industrisektorn så används mestadels biobränsle och el för att driva processer. I bostäder och servicesektorn består energin i form av el, fjärrvärme, biobränslen och olja (Energimyndigheten, 2017a).

Bränslen som används inom fjärrvärmeproduktion har ändrats avsevärt från 70-talet (Figur 2). Från att bestå av oljeprodukter så har produktionen omställts mot förnybara bränslen. Användning av avfall har ökat det senaste decenniet. Ökningen har skett på grund av förbudet mot deponering av brännbart avfall, år 2002, och förbudet mot deponering av organiskt avfall, år 2005. (Energimyndigheten, 2017a).



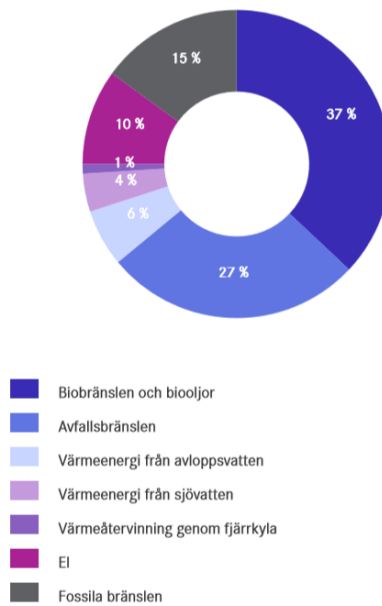
Figur 2. Tillförd energi för fjärrvärmeproduktion 1970–2015. Avfall ingår i två kategorier: organiskt avfall är inom Biobränsle och fossilt avfall i Övriga bränslen. Torv ingår i Övriga bränslen (Energimyndigheten, 2017a).

2.3 Stockholm Exergi

Stockholm Exergi är ett energibolag i Stockholm som producerar fjärrvärme, fjärrkyla och el. Inom fjärrvärmen så produceras värme till över 800 000 personer, vilket är mer än 80 % stockholmare. Inom fjärrkyla så är Stockholm Exergi störst i världen med att leverera antingen komfort- eller processkyla. Komfortkyla är kyla inomhustemperaturen för människor, exempelvis köpcentrum, sjukhus och kontor. Processkyla är för att kyla industriella processer eller datahallar (Stockholm Exergi, u.d.).

Stockholm Exergis tillförda energi bestod år 2017 mestadels av biobränslen och bioolja och avfallsbränslen (Figur 3). Av den totala produktionen år 2017 var 84 % från förnybara eller återvunna källor. Produktionssamverkan, frikyla och energi från datahallar är inte inkluderad. Fjärrvärmen har 89 % förnybar eller återvunnen energi. Stockholm Exergi har som mål att fasa ut det sista kolet till 2022 (Stockholm Exergi, 2018).

Tillförd energi Stockholm Exergi 2017



Figur 3. Tillförd energi för Stockholm Exergi 2017 (Stockholm Exergi, 2018).

Stockholm exergi har som mål att år 2030 ska deras produkter vara helt klimat- och resursneutrala. En produkt är klimatneutral när all klimatpåverkan upphör eller kompenseras inom hela livscykel. För att nå målet behöver 100 procent av energin komma från förnybar eller återvunnen energi, sista fossila bränslet fasas ut och att de förnyelsebara bränslena kommer från hållbara källor (Stockholm Exergi, 2018).

2.4 Livscykelanalys

Livscykelanalys (LCA) är en av flera metoder för att bedöma miljöpåverkan av en produkt eller service. Andra metoder som finns är miljökonsekvensbeskrivning, ekonomisk värdering och miljörapporter. I en LCA undersöks en produkts eller tjänsts olika flöden från början till slutet, även kallad “vagga till grav” (SLU, 2018b). Enligt ISO 14040/14044 omfattas processen i LCA av följande fyra faser:

- Formulering av mål och omfattning av studien
- Inventeringsanalys
- Miljöpåverkansbedömning
- Tolkning av resultaten (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2006).

Dessa fyra faser har inte ett linjärt förhållande mellan varandra utan är iterativt. Det betyder att mellan alla steg så sker det utbyte, exempelvis så kan målformuleringen behöva ändras efter inventerat vilka flöden som finns (SLU, 2018b).

I den första fasen bestäms målet med studien och vilka alternativ som ska undersökas. Ett inledande flödesschema kan vara användningsbart för att se skapa en generell bild och att se att alla alternativ är jämförbara. Därefter ska funktionell enheten definieras som alla flöden i systemet är relaterade till. Fasen inkluderar systemgränser, fastställande av miljöpåverkanskategori, metod för påverkansbedömning, allokering och datakvalitet. Beroende på syftet kommer LCA antingen bli en bokförings-LCA eller en konsekvens-LCA. Vid en bokförings-LCA så besvaras hur stor miljöpåverkan något har i nuläget och där används medeldata. I en konsekvens-LCA så besvaras vad konsekvensen blir vid en förändring och man använder marginaldata (Bauman & Tillman, 2004).

I den andra fasen konstrueras ett flödesschema enligt första fasen. För alla processer inom systemgränsen insamlas data. I tredje fasen klassificeras data till dess respektive påverkanskategori som sedan karaktäriseras till gemensamma enheter och sammanställs till miljöpåverkanskategorin. Vanliga miljöpåverkanskategorier är global uppvärmning, övergödning, försurning och resursanvändning (Bauman & Tillman, 2004).

I fjärde fasen tolkas resultatet och presenteras. För att analysera resultaten kan känslighetsanalys och osäkerhetsanalys göras. Resultaten kan även viktas för en sammanvägd siffra som gör det enklare att presentera klimatpåverkan (Bauman & Tillman, 2004).

2.5 Torv och torvmark

Torv är en organisk jordart som skapas genom ofullständig nedbrytning av växtmaterial i en våt och syrefattig miljö. En myr är en samlad lagring av detta döda växtmaterial (torv) och har antingen formats från igenväxning av sjöar eller genom försumpning/vattenmättnad av fastmark på grund av utläckande grundvatten eller hög nederbörd. I vissa fall har torv bildats på grund av landhöjning. I Sverige har torvbildningen skett efter den senaste inlandsisen avsmältning för ca 10 000 år sedan. Under de senaste 2000 åren har den huvudsakliga torvvolymen bildats till följd av klimatförändringar till ett fuktigare och kyligare klimat (Hansen, et al., 2016). Torvmarker innehåller 30 % av allt markbundet kol men utgör endast 3 % av jordens landyta (Schoning, 2015).

Sverige har mycket omfattande torvtillgångar och ungefär en fjärdedel av landytan är täckt av torv (Neova, u.d.-b). Av denna yta har mer än hälften, ca 6,2 miljoner hektar, ett torvlager mäktigare än 30 cm och kan därför geologiskt klassas som torvmarker. Sverige är en av jordens torvmarktätaste länder. Torvskörd sker på en area 10 000 hektar vilket är mindre än 2 promille av totala svenska torvmarksarealen (Hansen, et al., 2016). Volymmässigt så skördas ca 3,5 miljoner m³ energitorv och 1 miljon m³ odlingstorv. Skörden blir således ca en femtedel av den årliga tillväxten som är ungefär 20 miljoner m³ (Strömberg & Herstad Svärd, 2012)

En torvtäckt mark är således en myr där grundvattenytan är i eller nära markytan. Ytskiktet på myren kan ha moss- eller kärrvegetation. Myrar kan delas in i två

övergripande typer efter vegetationens tillgång av mineral och näringsämnen i vattnet som finns tillgängligt. Dessa två är mosse och kärr (Hansen, et al., 2016).

I en mosse sker vattentillförsel endast från nederbörd vilket gör att tillgången på näring är dålig. Mossarna har en vegetation som kännetecknas av ett slutet täcke vitmosse med en artfattig flora. Den mossetorv som bildas kännetecknas som näringsfattig och har låg grad av nedbrytning (låghumifierad). Denna typ av torv är mer lämpad för odling än energiproduktion (Hansen, et al., 2016).

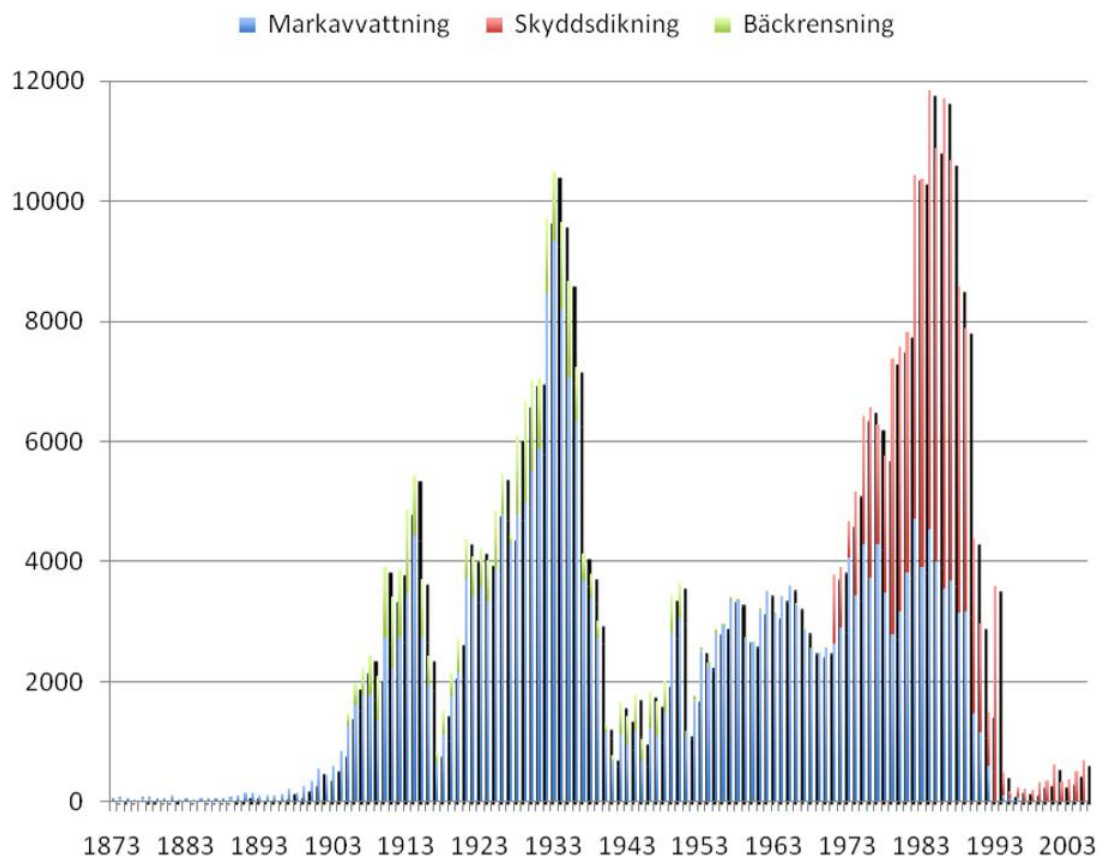
I ett kärr sker vattentillgången från nederbörd samt från ytligt rinnande grundvatten som för med sig näringsämnen och mineral från angränsande fastmark. Vegetationen i kärret har en bättre tillgång på näringsämnen och kännetecknas av mer näringskrävande vegetation än mossarna. Torvslagen som bildas från kärr är vanligen mest anpassade för energiproduktion. Mossar har för det mesta utvecklats från kärr och då ligger den vanligen låghumifierade mossetorven ovanpå kärrtorven (Hansen, et al., 2016).

Det finns flera olika användningsområden av torv. De vanligaste är energiändamål, odlingssubstrat och djurhållning. När torv används i energiändamål benämns det som energitorv och sker oftast i form av förbränning (Hansen, et al., 2016). Det kan även ske i form av pyrolys och torrefiering. När växttorv används som odlingssubstrat kallas det odlingstorv och används då för torvets unika egenskaper att förbättra odlingen (Hansen, et al., 2016). Odlingstorven är marknadsledare inom odlingssektorn och konkurrerar mot andra odlingssubstrat som kokosfibrer, stenvull och barkprodukter (SCB, 2001). För djurhållning används den som strömedel där torven förbättrar djurhälsa och stallmiljö (Neova, u.d.-b).

2.5.1 Dränerad torvmark

En vanlig orörd torvmark växer generellt årligen då torvtillväxten är större än nedbrytningen (Naturvårdsverket, 2016). För att öka skogsproduktionen så har torvmarksarealer dränerats via dikning för att göra mer gynnsamma förhållanden för skogstillväxt. När torvmark dikas så avrinner mer vatten och mer syre tillförs djupare ner i marken, vilket gynnar rotsystemet (Fahlvik, et al., 2009). Detta leder till lägre torvtillväxt då tillväxten gynnas i syrefattig och våt miljö samt att nedbrytningen av torv ökar då mer syre tillförs. Resultatet av detta är nedbrytningen blir större än tillväxten och att den dränerade torvmarken släpper ut koldioxid till atmosfären. Torvmarken blir på så vis av en källa av koldioxid istället för en sänka som den är vid torvtillväxt.

För en hög tillväxt på torvmark krävs att syre finns till det djup där huvuddelen av rotsystemet utnyttjar. Grundvattenståndet bör inte vara närmare markytan än ca 50 cm. För att nå denna nivå krävs dränering. Att dika marker för att främja skogsproduktion kallas skogsdikning. Skogsdikning på torvtäckta marker har utförts under en lång tid i Sverige för att öka skogsproduktion (Figur 4). Den började smått på 1850 talet och håller på än idag, fast då i mycket mindre utsträckning. Det har givits statliga bidrag till runt 1990 talet för skogsdikning (Fahlvik, et al., 2009).

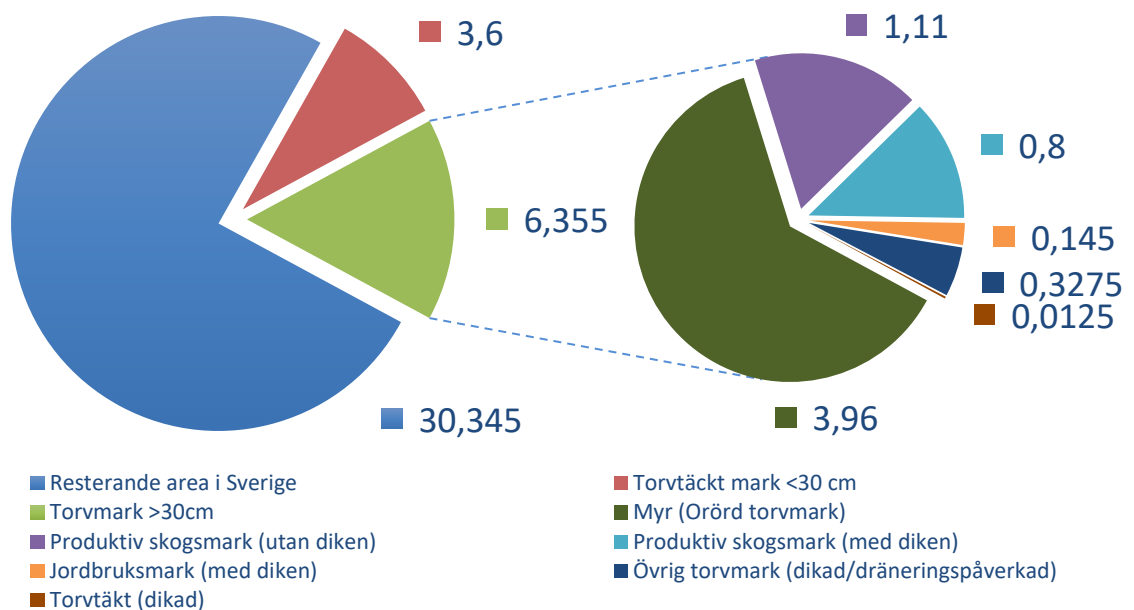


Figur 4. Skogsdikning i Sverige i antal km med fördelningarna markavvattning, skyddsdikning och rensade bäckar(dikesrensning) (Fahlvik, et al., 2009).

Inom skogsdikning tillämpas följande metoder idag. Nydikning är att långvarigt sänka grundvattenytan för att öka skogsproduktion, även kallad markavvattning. Dikesrensning är att återställa befintligt dikessystem genom att rensa gamla diken till ursprungligt djup. Skyddsdikning är att avleda vattenöverskott som orsakats av stigande grundvattennivå efter kalavverkning av skog. Skogsdikning är starkt reglerad i lagar och bestämmelser (Fahlvik, et al., 2009). Idag är det ett principiellt dikningsförbud i Sverige men man kan få dispens mot förbudet från länsstyrelsen (Hånell, et al., 2006).

Som nämndes tidigare så är 10 miljoner hektar av Sveriges yta bestående av torv (Svensk Torv, u.d.), som är ca 25 % av landarealen på 40,731 miljoner hektar (SLU, 2018a). Torvmarken uppgår till ca 6,4 miljoner hektar och resterande är torv med mindre djup än 30 cm (Svensk Torv, u.d.), som innebär att 3,6 miljoner hektar är torv med mindre djup än 30 cm. Enligt Naturvårdsverket (2016) fördelas torvmarkerna av 3,96 miljoner hektar (Mha) myr, 1,11 Mha av produktiv skogsmark utan diken, 0,80 Mha av produktiv skogsmark med diken, 0,145 Mha jordbruksmark med diken, 0,327 Mha övrig torvmark som är med eller utan diken och 0,0125 Mha torvtäkt. Med diken innebär mark som har diken inom 25 meter och utan diken där diken saknas inom 25 meter. Hur fördelningen är över hela Sverige kan ses i figur 5. Det beräknas finnas ca 350 000 hektar torvmark som är av lämplig typ och kan utvinnas till energitorv (Energimyndigheten, 2010).

Torvmark i Sverige som är påverkad av dikning (miljoner hektar)



Figur 5. Sveriges torvmark och fördelning på olika markslag och dikespåverkan. Med diken är mark som har diken inom 25 meter och utan diken är där diken saknas inom 25 meter. Produktiv skogsmark är mark som minst producerar 1 m³sk/hektar och år (Svensk Torv, u.d.) (SLU, 2018a) (Naturvårdsverket, 2016)

2.5.2 Växthusgasbalansen på torvmark

Det finns stora mängder kol i torvmarker, både globalt och internationellt. Torvmarkerna har stor betydelse för växthusgasflödena av koldioxid, metan och lustgas. Mellan olika torvmarker varierar växthusgasbalansen mycket. En blöt torvmark med högt grundvatten som inte är dränerad är ofta en sänka för koldioxid då tillväxten är större än nedbrytning. Den marken avger samtidigt en sådan mängd metangas att torvmarken totalt sett blir en källa av växthusgaser, då metangas påverkar växthuseffekten mer än koldioxid. Torvmark innehåller en stor mängd kväve, när en sådan mark dräneras frigörs mer lustgas samt koldioxid (Naturvårdsverket, 2016).

2.5.3 Torvutvinning i LCA

Torven har utsläpp och emissioner i fyra stadier över en livscykel. Det första som har inverkan är valet av torvmark, här kallad referensscenario. När torv bryts från dikade torvmarker som läcker växthusgaser så tillgodoräknas dessa utsläpp och blir undvikta utsläpp (Energimyndigheten, 2010).

Det andra som påverkar i livscykeln är skördeprocessen, lagring och transporter. Torv skördas från dikad area som medför emissioner från torvmarken och därefter kommer torven fortsätta att ge utsläpp när torven lagras. Produktionsätt med arbetsmaskiner,

tidsåtgång för torvutvinningen och transport från torvtäkt medför även utsläpp till atmosfären (Energimyndigheten, 2010).

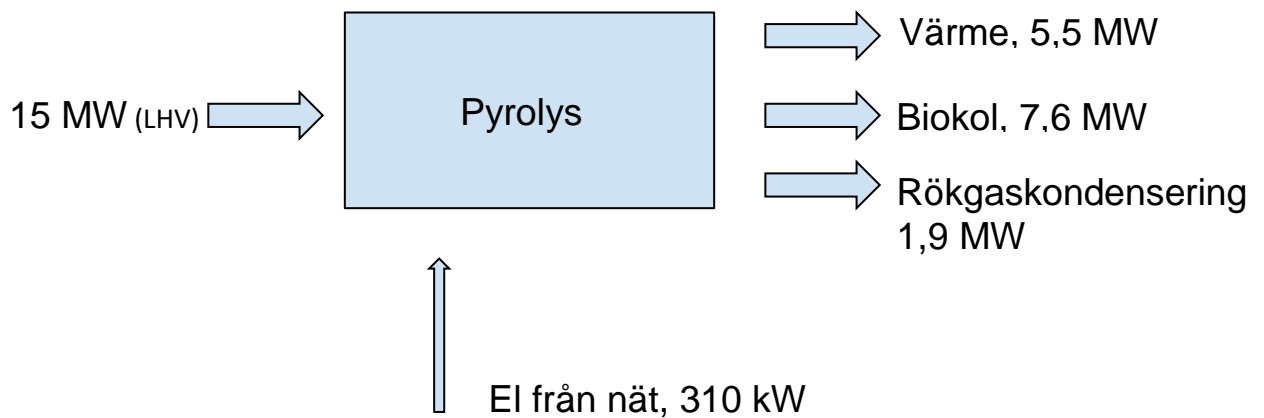
Det tredje stadiet är förbränningen eller energiutvinningen. När torven energiutvinns bildas utsläpp. Vid förbränning så utgör det den största utsläpp under hela livscykeln (Energimyndigheten, 2010).

Det sista stadiet är efterbehandlingen av torvmarken med både upptag och utsläpp av växthusgaser. Efter torvutvinningen kommer arean att behandlas till våtmark eller beskogas. Utsläpp och upptag beror på vilken efterbehandling som väljs. Det kan finnas ett torvlager kvar på marken som också utgör utsläpp (Energimyndigheten, 2010).

2.6 Pyrolys

Pyrolys är en teknik att producera energi från biomassa under syrefria eller låga syrehalter. Det är en termokemisk metod där biomassan termiskt bryter ner kemiska beståndsdelar. I pyrolyprocessen skapas produkterna bio-syngas, bio-olja och biokol i temperatur mellan 400–1200 grader. Fördelningen mellan produkterna beror på flera olika parametrar som bland annat temperatur, uppvärmningshastighet och uppehållstid. Ett generellt samband är att lägre temperatur (450-600 grader), låg uppvärmningshastighet och längre uppehållstid gynnar biokolsproduktion. En pyrolyprocess med dessa parametrar kallas långsam pyrolys. Biomassans innehåll är något som påverkar biokolsproduktionen utöver pyrolyprocessen, de som påverkar mest är fukthalt, cellulosa och lignin, samt partikelstorlek. Pyrolys är en effektiv teknik och ger mindre föroreningsutsläpp än förbränning (Tripathi, et al., 2016).

Stockholm Exergi planerar att bygga en långsam pyrolysanläggning i Brista där produkterna blir värme och biokol. Pyrolysanläggningen planeras att vara klar till år 2021 och vara i drift 7500 timmar. Anläggningen är planerad att få ut så mycket stabilt biokol som möjligt, där produkterna bio-syngas och bio-olja förbränns och blir värme. Värmen som produceras kommer en del gå till uppvärmning av råmaterialet då pyrolysanläggningen är en endoterm process och behöver absorbera energi från omgivningen. Endoterma utbytet till råmaterialet sker via rökgaskondensering (Dahlén, 2018). Med ett biokolsutbyte på 30 % kommer anläggningen med 15 MW (LHV) ha energibalansen 5,5 MW värme, 1,9 MW rökgaskondensering och 7,6 MW i biokolet (Figur 6). Utöver detta behöver anläggningen el för att driva processer som motsvarar totalt 310 kW (Ljunggren, 2018). LHV står för lower heating value och är bränslets effektiva värmevärde.



Figur 6. Energibalans över pyrolysanläggningen.

2.7 Biokol

Biokol är kol producerad från biomassa och har många olika användningsområden som förvaring av flyktiga partiklar, energilagring i batterier, filter i reningsverk, isolering i byggnader, ensileringsmedel och fodertillskott. Biokol är en värdefull resurs och borde användas för nyttjande ändamål en gång innan användning i jordbruk och mark. Efter nyttjande ändamålet kan därefter följas av användning i bondgårds slamkälla eller avloppsverk innan den komposteras. Till sist blir biokolet arbetad in i jordar (Schmidt, 2012).

I en livscykelanalys av Roberts et al (2010) så har biokolproduktion en potential att minska växthusgasutsläpp med upp till 870 kg CO_{2ekv} per ton torrsustans (TS) råmaterial. Det stabila kolet står för den största minskningen (54–66 %) och därefter kommer undvikta utsläpp från naturgasens produktion och förbränning (25-40 %). Insamling av kol i jord och biomassa samt minskat lustgasutsläpp medför en liten minskning av växthusgasutsläpp (Roberts, et al., 2010). Biokol har en porös struktur och hög yta som kan användas för att adsorbera CO₂ i rökgaser från förbränningsanläggningar. Biokol kan adsorbera upptill 0,47 kg CO₂/kg biokol där biokol har en fukthalt på ca 10 % (Madzaki, et al., 2016).

I en långsam pyrolysis gynnas biokolsutbytet störst där upp till 35 % av totala behandlade biomassan blir biokol (Ibarrola, et al., 2012). Efter biokolet har producerats har den en medel nedbrytningshastighet på 1000 år, med 90 % av kolet kvar i marken efter 100 år (Peters, et al., 2015). Den största variationen av biokol är ifrån råmaterialet och dess olika innehåll av beståndsdelar av cellulosa, hemi-cellulosa, mineralföreningar och lignin. Det är för beståndsdelarna sönderdelas i olika temperaturer (Cuthbertson, 2018).

Betong används som ett byggnadsmaterial och innehåller bindande materialet cement samt fyllnadsmaterial som är en blandning av sand och grus (Cuthbertson, 2018). Cement har en energiintensiv produktionsprocess och globalt producerar cementindustrin 5 % av den totala mänskliga CO₂ utsläppet årligen (Chio, et al., 2012). Cement består

volymmässigt 20 % men bidrar till ca 90 % av betongens utsläpp (Akthar & Sarmah, 2018). Den största minskning av betongs klimatpåverkan skulle vara att ersätta cement i betong. I en fallstudie av Bianco et al. (2017) undersöktes betong med 100 % cement med 70 % cement och 30 % biokol i en livscykelanalys. Betong med biokol skulle kunna ha potential att minska utsläppen med 35 % GWP.

Biokol har utöver det en potential att användas inom betongindustrin för hälsofördelar, kemisk stabilitet, isolering, ljudminskning och behålla strukturen vid närvaro av höga temperaturer. Biokolet ger hälsofördelar genom att porerna i biokolet kan reglera fukten i luften mellan 40–70 %. Detta kan förhindra astma och andra andningssjukdomar orsakad av torr luft samt förhindra mögeltillväxt från fuktig luft. Biokol ger kemisk stabilitet som är en viktig faktor när additivs läggs till i betong eller asfalt. Betong är känslig mot nedbrytningsreaktioner och oxidationer. Biokol med en låg O/C-kvot kommer ha en lägre reaktivitet, vilket kommer leda till mindre chans framkalla reaktioner inom betong eller asfalt. För att behålla strukturen vid hög temperatur så är det viktigt att biokolet har en låg H/C-kvot. I isolering bryter porerna den termiska bryggan i betongen som leder till att värmeledningsförmågan, $W/m \cdot K$, minskar. Denna minskning ger stora fördelar i energisynpunkt då isoleringen minskar behovet av uppvärmning och nedkylning i byggnader (Cuthbertson, 2018).

I Cuthbertson (2018) är resultatet att ha låg inblandning av biokol i betong (1-2 %) för att behålla styrkan samtidigt ge förbättrade egenskaper som minskad värmeledningsförmåga och ljuddämpning. En industriell betong kan ha en värmeledningsförmåga mellan 0,4 – 3,3 $W/m \cdot K$ och vid en inblandning med 1 % biokol av vikten blev värdet så lågt som 0,209 $W/m \cdot K$. Vid inblandningen kunde både grus eller sand ersättas utan någon skillnad mellan resultaten. En mindre inblandning leder till att betongen behåller den mekaniska styrkan utan att betongen blir skör (Cuthbertson, 2018). I en studie av Akthar & Sarmah (2018) undersöktes biokol från tre olika råmaterial att inblandas i betong upp till 1 % av totala vikten. Resultatet var att biokol kan ersätta cement i låga mängder (0,1 %) och har potential att öka betongens styrka (Akthar & Sarmah, 2018).

Fukthalten för biokol varierar mycket, i rapporten *Time-dependent climate impact of short coppice willow-based systems of electricity and heat production* av Niclas Ericsson år 2015 antogs det till 60 % och i rapporten *Potential GHG emissions reductions with biochar* år 2016 från 2050 Fast forward to a Greener Future (ej publicerad) rekommenderar Hans-Peter Schmidt från Ithaka Institutet att ansätta fukthalten till 50 %. När biokol tillsätts i betong så kommer mer vatten att behöva tillsättas, där vattnet absorberas av biokolet under omrörning (Cuthbertson, 2018).

2.8 Behandling av dikade torvmarker

Det finns olika alternativ för dikade torvmarker. Torvmarken kan återvätas till våtmark genom att öka grundvattenytan eller så kan marken beskogas om det inte innehåller skog.

Om torv börjar skördas från marken så behöver marken efterbehandlas efter torvutvinningen är klar. Vanliga alternativ är våtmark och beskogning men även skapande av sjö förekommer (Jordan, 2016).

2.8.1 Produktion och tillväxt av skog

I Sverige har mestadels av de boreala skogarna blivit omhändertagna som har lett till att tillväxten har varit större än den årliga skogsavverkningen genom hela 1900-talet. Den totala skogstillväxten och den potentiella skörden har ökat som effekt av aktiv skötsel, förbättrad skogsodling och ökad stående skogsvolym. Den svenska skogen mildrar klimatförändringen med en större skogstillväxt och -skörd då det inbundna kolet i skogens ekosystem ökar samtidigt som samhällets användning av träråvaror ökar (Lundmark, et al., 2014).

Förbränning av biomassa från hållbara skogar är generellt accepterade som kolneutrala då emissionerna från förbränningen upptas samtidigt via skogens återväxt. Utöver det kan en hållbar skog minska koldioxidutsläpp i atmosfären flera olika sätt. Det blir en ökad förvaring av kol i skogsprodukter, en kolsänka i skog och mark samt träd kan användas som ett substitut till fossila bränslen och till energikrävande material som betong (Lundmark, et al., 2014).

2.8.2 Behandling och efterbehandling via beskogning på torvmarker

I boreala regioner är nettoprimärproduktionen begränsad av låga temperaturer men även tillgängliga näringsämnen begränsar trädens tillväxt. På mineraljordar begränsar kväve (N) och på torvjordar fosfor (P) och kalium (K) (Hökkä et al. 1996). I princip alla torvmarker finns det ett begränsat förråd av växtnäringsämnena fosfor och kalium. Förrådet minskar med en uthållig skogsproduktion samt att ingen vittring av bergartsbildande mineraler förekommer i torv, dvs ingen tillförsel av mineralämnen i marken (Fahlvik, et al., 2009).

För att avgöra kvaliteten och lämpligheten för skogsproduktion på nedlagda torvtäcker är det nödvändigt att analysera torvens ytskikt (0-10 cm) och djupare lager (30-40 cm), med avseende på halt av organiskt material, skrymdensitet, totalt innehåll av P, N, K, B, och utbytbar K. På avslutade torvtäcker är yttorven tämligen kväverik men fattig på fosfor. Det råder näringsbrist då kvoten N/P är 100/2-4 men trädens behov är 100/10-13. Det råder även kaliumbrist för träd. När en uthållig skogsproduktion ska drivas på avslutad torvtäkt kan man räkna med att näringstillförsel är nödvändig (Hånell, et al., 1996). PK-gödselmedel och samma mängd i aska ger likvärdiga resultat både i etableringsmässigt och produktionsmässigt (Magnusson & Hånell, 2000). Bioaska innehåller alla betydande

näringsämnen för trädväxt förutom kväve (Hånell, 2004). De effekter på trädttillväxt som kommer av aska blir större om torven är kväverik. Det översta torvlagret (0 - 20 cm) kräver minst en halt på 1,3 - 1,5 % kväve för tillfredställande trädväxt. Tillväxteffekten är liten där totalkvävehalten var mindre än 1,0 % (Hånell, 2004).

Avslutade torvtäkter erbjuder möjlighet att få ett kretslopp av näring när bioaska används som gödselmedel. Där bioaska ger mineralnäringen som behövs samt bidrar med kalkverkan (Hånell, et al., 1996). En avslutad torvtäkt som är sur och näringsfattig kan endast övergå till en produktiv skogsmark när kalkning har minskat surheten och gödsling tillgodosett mikrobiopopulationens behov av näring och energisubstrat. Att tillföra enbart fosfor ökar inte mikrobiell aktivitet. Att istället endast kalka ökar mikrobiella aktiviteten men kan medföra kvävebrist och tillväxtnedsättning hos träd då mikroberna konkurrerar ut trädets rötter om tillgängligt kväve (Hånell, et al., 1996).

Att analysera torvens växtnärings innehåll ökar med torvdjupet. Tallplantor når underlaget när torven är mindre än 40 cm djupt. Granens rotförmåga är troligen inte större. Att trädens rötter skulle nå underlaget ger ingen garanti för nöjaktig trädttillväxt (Hånell, et al., 1996). Ett träd består av olika delar som stam med bark, stubbe med rötter som fördelas olika beroende på trädstorlek. Utsläpp från biomassa sker olika hastigheter beroende användningen av biomassan. Biomassa till energi ger direkt tillskott till atmosfären, och sågade varor, trädbaserade skivor samt papper har en medellivslängd på 35 år, 25 år respektive 2 år (Lundblad, et al., 2016). I (Lundblad, et al., 2016) så antogs produkterna vara fördelade enligt 20 % sågade varor, 2 % träbaserade skivor, 45 % energi och 33 % till pappersmassa. Fördelningen behölls konstanta i alla olika scenarier. De antog även att inget uttag av avverkningsrester eller stubbar skedde.

Den bästa kombinerade effekten av gödsling och gallring fås när gödsling sker 0-2 år efter gallringen. I en tallskog så har kvävegödsling en effekt på tillväxten i 7-10 år efter spridningen (Skogs Sverige, u.d.). Gödsling med 80 kg kalium och 40 kg fosfor per hektar ger en ökad tillväxt som varar i 10-20 år (Yara, u.d.). Att gödsla en mark för att öka näringen i marken bidrar även med klimatpåverkan.

2.8.3 Behandling och efterbehandling via återvätning

Att återväta en torvmark kan resttorvens egenskaper spela roll. För att göra detta måste de dränerade diken fyllas igen för att få upp grundvattennivån igen. Av olika material att fylla igen diken var höghumifierad torv och sand/bentonit-blandning mest lämpade (Hånell, et al., 1996) Att återväta en avslutad torvtäkt till en ny våtmark kan bidra till kollagring och förbättrad biodiversitet (Jordan, 2016).

2.9 Torvtäkten Vännmuren

Torvtäkten Vännmuren befinner sig i Sandvikens kommun, Gävleborgs län. Hela området innefattar en yta på ca 92 hektar och produktionsområden på en yta av ca 55 hektar. Medelmäktigheten på torven är ungefär ca 3 meter och under torven finns sand och finsediment. Innan torvproduktion startade var området dikat där det i huvuddel var produktiv skogsmark. Den dominerade ytan hade ett skogsbestånd som var barrskog och i vissa delar var gles myrtallskog. Området hade inte några högre naturvärden, med anledningen den var ”hårt dikad”. Vännmuren befinner sig 74,5 till 77 meter över havet (m ö h). Till väster om Vännmuren ligger Enköpingsåsen som är upp till 90–95 m ö h och till öster stiger det till en höjd av 140 m ö h vid Hornberg 1 km bort. Torven som är vitmosse- och starrtorv är relativt näringsrik. Halterna av oxiderbara ämnen som järn, mangan och svavel är inte förhöjda (Råsjö Torv AB, 2004).

Energiinnehåll för styckestorv är ca 19.63 MJ/kg TS. Detta är lägre än bränslehandsbokens 21,5 MJ/kg TS.

Torvmarken var mestadels täckt av en produktiv skogsmark med en mindre yta som kan ha varit impediment. Den hade diken men om torvmarken skulle vara klassificerad enligt riksskogstaxeringens utan eller med diken är oklart (Bodén, 2018).

3. Metod

För att besvara frågeställningarna har livscykelanalys använts. I detta kapitel redovisas de metoder, data och antagande som använts i livscykelanalysen.

3.1 Livscykelanalys

I detta arbete så genomfördes en livscykelanalys (LCA) för långsamt pyrolyserad torv. Den tänkta pyrolysanläggningen i Brista planeras att vara klar runt år 2021, vilket innebär att det blir en konsekvens-LCA. Den funktionella enheten som används i denna studie är kg CO_{2ekv} per ton torrsubstans (TS) torv samt kg CO_{2ekv} per MWh_{värme}.

I denna LCA så används miljöpåverkanskategorien global warming potential, GWP. För att få ut den globala uppvärmningspotentialen av olika växthusgaser så multipliceras respektive växthusgas med dess uppvärmningspotential över en tidshorisont (Tabell 1). Den valda tidshorisonten är 100 år, således används GWP₁₀₀, och får den ackumulerade uppvärmningen i 100 år uttryckt i koldioxidekvivalenter, CO_{2ekv}.

Tabell 1. GWP värden i förhållande till CO₂ (Myhre, et al., 2013).

Växthusgas	GWP ₁₀₀
CO ₂	1
CH ₄	30
N ₂ O	265

Resultatet redovisas som ett totalt CO_{2ekv} utsläpp och är inte uppdelad som fossila eller biogena utsläpp. Detta beror på att syftet med en pyrolysanläggning är att minska den globala uppvärmningen genom att få ett negativt utsläpp samt att torv är ett omdiskuterat ämne som ibland klassificeras fossilt eller långsamt förnybart. Resultatet av livscykelanalysen kommer visas genom nettoeffekten, där varje scenario subtraheras mot referensscenariot. Nettoeffekten blir ett mått som visar om pyrolysning av torv ökar eller minskar utsläppen.

Vidare beror torvmarkutsläpp mycket på grundvattenstillståndet från ytan. Grundvattenstillståndet är varierande från olika täkter och svårt att bedöma i sin helhet. Samtidigt har utsläppen ett stort konfidensintervall som bidrar med osäkerheter. För att få en mer heltäckande bild av nettoeffekten på torvmarker så kommer resultatet ha ett intervall, där de yttre värdena är sämre- och välfungerade dränering. Detta leder till att fokuseringen blir mer på näringsstatus på torvmarker och om torvmarken är skogbevuxen eller ej.

3.2 Systemgräns

Systemet startar vid 1 hektar dränerad torvmark som är klar för torvutvinning. Det förberedande arbetet i torvutvinning med transportvägar, dränering och röjning är utanför systemets gränser. Produktion och tillverkning av maskiner som används vid torvutvinning och transport är utanför systemets gränser.

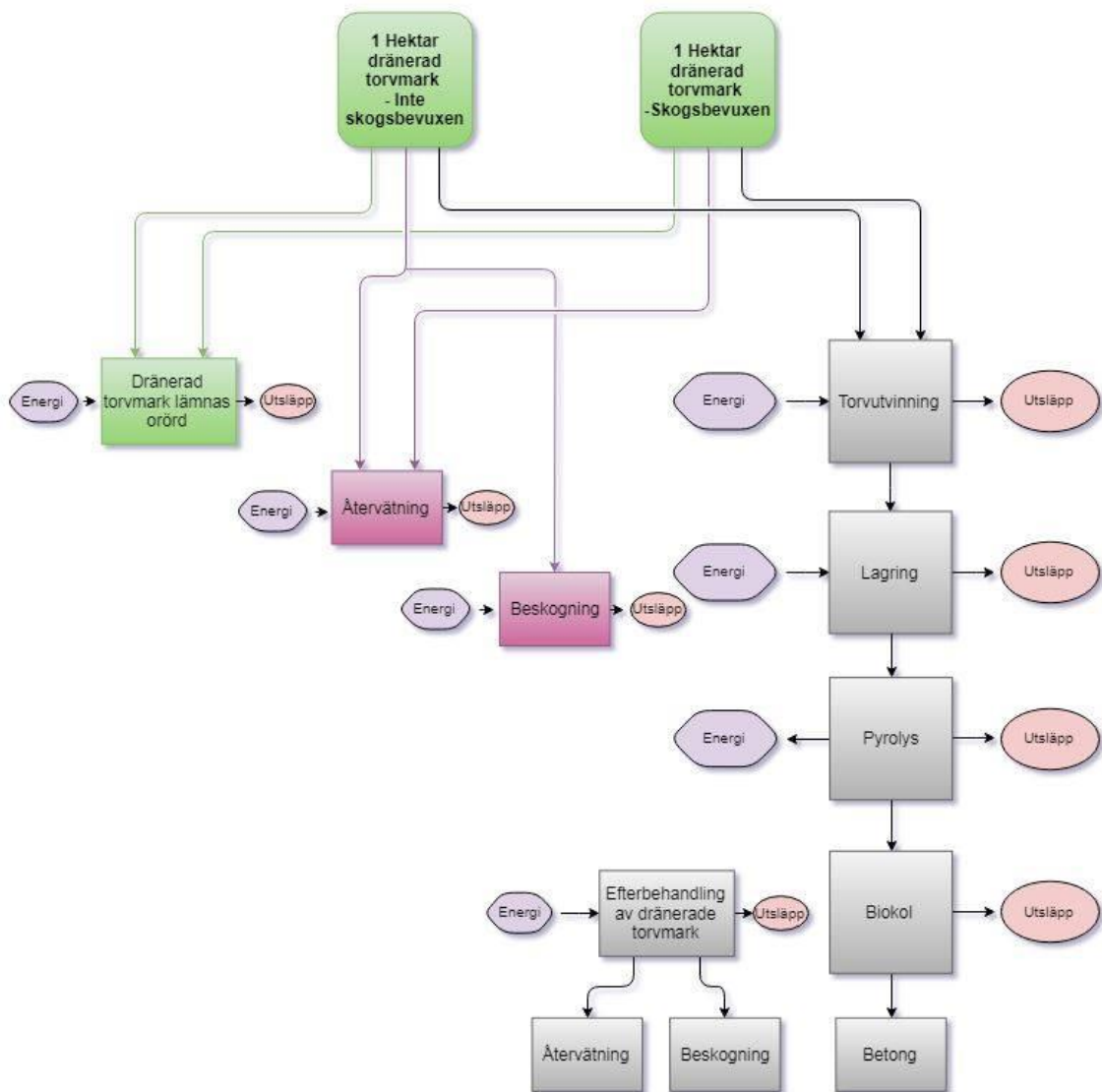
Biokolet kan, som tidigare nämnt i kapitel 2.7, användas i olika områden för att göra en klimatnytta. Endast ett område kommer undersökas i denna rapport. Det är att tillsätta biokol i betong. För att kunna möjliggöra andra appliceringar av biokol har varje scenario där torv utvinns och biokol framställs två olika fall. Ena fallet är utan biokol och andra är med biokol. Det kommer endast vara en inblandning (grus och cement) för generella torvmarker och för Vännmuren undersöks tre olika inblandningar.

Två olika tidsperspektiv undersöks i denna studie. Först en som är 20 år och sedan en på 100 år. Tidsperspektivet på 20 år undersöks därför det blir ett tydligt avslut hur skillnaden blir efter torvutvinningen är klar. Efter torvutvinningen efterbehandlas torvmarken, som kan bland annat beskogas. En skog i Svealand har en omloppstid på ca 80 år. I tidsperspektivet 100 år har beskogningen fullgjorts. Ett ännu längre tidsperspektiv skulle medföra större osäkerheter med GWP.

3.3 Scenarier

Beräkningarna har gjorts ifrån två olika torvmarker där ena är 1 hektar dränerad torvmark som inte är skogbevuxen och den andra är 1 hektar dränerad torvmark som är skogbevuxen (Figur 7). Den dränerade torvmarken har dessutom beräknats utifrån näringstillstånden näringsrik och näringsfattig. Det innebär att det blir totalt fyra olika dränerade torvmarker som beräknas utifrån.

Sen har flera olika scenarier undersökts på den dränerade torvmarken. Referensscenariot är att den dränerade torvmarken lämnas orörd. De andra scenarierna är återvätning, beskogning och torvutvinning. Efter torvutvinningen är klar efterbehandlas torvmarken med återvätning eller beskogning. I referensscenario, återvätning och beskogning tillsätts marginalenergi för att kunna jämföras med torvutvinningen. Skillnaden i utsläpp som uppstår mellan standardbetong och betong med biokol läggs till i scenarier med biokol.



Figur 7. Scenarier som undersöks i studien. Den dränerade torvmarken kan antingen vara näringsrik eller näringsfattig.

3.4 Datainsamling

3.4.1 Dränerad torvmark

För att beräkna utsläppen från dränerad torvmark i de olika scenarierna har data från Lundblad et al. (2016) rapport används (Tabell 2), och som stöd för antaganden användes bilaga C i deras rapport. Metoden för de olika scenarierna och dess beräkningar kommer nedan, där det innefattar torvmarkens och torvutvinningens klimatpåverkan samt återställning till våtmark.

Tabell 2. Växthusgasutsläpp från dränerad torvmark, torvutvinning samt återställning till våtmark (Lundblad, et al., 2016) (Inkluderad utsläpp från dike och DOC (löst organiskt kol))

	<i>kg CO₂ /ha/år</i>		<i>kg CH₄ /ha/år</i>		<i>kg N₂O/ha/år</i>	
<i>Typ av mark</i>	Väl- dränerad	Sämre dränerad	Väl- dränerad	Sämre dränerad	Väl- dränerad	Sämre dränerad
<i>Dränerad torvmark – näringsrik</i>	5050	3250	7,6	116,9	4,8	0,7
<i>Dränerad torvmark – näringsfattig</i>	4460	2450	10,8	47,8	1,8	0,3
<i>Torvutvinning</i>	10 740		32,3		0,5	
<i>Återställning till våtmark – Näringsrik</i>	-341		221		0	
<i>Återställning till våtmark -Näringsfattig</i>	-811		79		0	

För att få de totala växthusgasutsläppen från alla scenarier av torvmarken så har varje växthusgas summerats i 20 år för 20-årigt tidsperspektiv eller summerats i 100 år för 100-årigt tidsperspektiv. Det totala växthusgasutsläppet för varje växthusgas har sedan multipliceras med GWP₁₀₀ (Tabell 1). Utsläppen från torvmarker är från 1 hektar och för att konvertera det till den funktionella enheten ton TS torv så divideras utsläppen på 1800. Detta för varje år så kan mellan 80–100 ton TS styckestorv utvinns (Neova, u.d.-a), medelvärde 90 ton TS har använts. Vid torvutvinning i 20 år blir det totalt 1800 ton TS torv som har utvinns.

Dränerad torvmark utan skog - Torvmarken lämnas orörd (Referensscenario)

Detta referensscenario är hur torvmarken skulle ha för utsläpp om den lämnas orörd. Torvmarken kommer att oxideras och nedbrytas och långsamt gå tillbaka till ett våtmarksliknade mark. Detta tar 250 år för en näringsfattig torvmark och 175 år för näringsrik torvmark. För att få ut växthusgasutsläppen av väl-dränerad näringsrik torvmark gick koldioxidutsläppen linjärt från 5050 till -341 över en period av 175 år. Metangasutsläppen linjärt från 7,6 till 221 över 175 år och lustgasutsläppen linjärt från 4,8 till 0 över 175 år. Beräkningen för sämre dränerad användes samma metod. För beräkningen av näringsfattig användes perioden 250 år istället för 175 år.

Sedan har alla utsläpp summerats inom tidsperspektiven 20 år och 100 år. Det totala växthusgaserna har sen multiplicerats med respektive växthusgas (Tabell 1).

Dränerad torvmark med skog – Torvmark lämnas orörd (Referensscenario)

Torvmarkens utsläpp räknades som konstanta över hela tidperioden. Skogen som fanns tidigare på marken är utanför systemets gränser. I referensscenariot antas skogen börjar planteras direkt från första året. Utsläppen har summerats inom tidsperspektiven 20 år och 100 år. Det totala utsläppet har sedan multiplicerats med respektive växthusgas (Tabell 1).

Dränerad torvmark utan skog samt med skog - Torvmarken behandlas

Direkt när marken behandlas till våtmarksliknade förhållanden går utsläppen linjärt från 0 till -341 över 250 år i fallet av koldioxidutsläpp i fallet av näringsrik mark. Det tar 250 år för näringsfattig mark.

När torvmarken inte är skogbeväxt så kan den beskogas. Då antas torvmarkens växthusgasutsläpp vara konstanta under hela tidperioden. Detta beror på att torv kommer att fortsätta finnas kvar i lång tid framöver.

Utsläppen har summerats inom tidsperspektiven 20 år och 100 år. Det totala utsläppet har sedan multiplicerats med respektive växthusgas (Tabell 1).

Dränerad torvmark utan skog samt med skog - Torvutvinning samt efterbehandling

Torvutvinning pågår i 20 år där utvinningen sker direkt utan förberedande åtgärder. De första 10 åren sker utsläppen enligt torvutvinning sen går täkten linjärt mot ett sämre dränerat för respektive näringsförhållande (Tabell 2). För koldioxid blir det då 10 740 i 10 år sen linjärt från det till 3250 över 10 år. Efter det så sker olika utsläpp beroende på efterbehandling. Vid återställning till våtmark så går det linjärt från 0 till -341 över 250 år. Vid fallet för efterbehandling av skog har torvmarkens utsläpp antagits minska exponentiellt med 2 % varje år från det dränerade utsläppet, vilket är samma som Lundblad et al. (2016).

Utsläppen har summerats inom tidsperspektiven 20 år och 100 år. Det totala utsläppet har sedan multiplicerats med respektive växthusgas (Tabell 1). De första 20 åren blir utsläpp definierad som torvutvinning och de resterande 80 åren definierade som torvmarkutsläpp.

Sammanställning av torvmarkens utsläpp

Alla scenariers torvmarksutsläpp (Tabell 3) innan konverteringen till funktionella enheten.

Tabell 3. Torvmarkens utsläpp i alla scenarier, kg CO_{2ekv}/hektar.

Torvmark	Tidperspektiv	Sämre dränerad				
		Torv lämnas orörd	Återvätning	Beskogning	Torvutvinning, återvätning	Torvutvinning, beskogning
Inte skogsbevuxen -	20 år	74 797	1 075	77 358	301 890	301 890
Näringsfattig	100 år	320 064	28 006	386 790	319 769	457 930
Inte skogsbevuxen -	20 år	129 647	4 439	134 174	329 854	329 854
Näringsrik	100 år	552 919	115 660	670 870	403 690	593 280
Skogsbevuxen -	20 år	77 358	1 075	-	301 307	301 307
Näringsfattig	100 år	386 790	28 006	-	319 186	453 185
Skogsbevuxen -	20 år	134 174	4 439	-	329 854	329 854
Näringsrik	100 år	670 870	115 660	-	403 690	593 280
Torvmark	Tidperspektiv	Välldränerad				
		Torv lämnas orörd	Återvätning	Beskogning	Torvutvinning, återvätning	Torvutvinning, beskogning
Inte skogsbevuxen -	20 år	101 184	1 075	104 777	301 890	301 890
Näringsfattig	100 år	430 058	28 006	523 884	319 769	457 930
Inte skogsbevuxen -	20 år	145 272	4 439	150 685	329 854	329 854
Näringsrik	100 år	612 162	115 660	753 424	403 690	593 280
Skogsbevuxen -	20 år	104 777	1 075	-	301 307	301 307
Näringsfattig	100 år	523 884	28 006	-	319 186	453 185
Skogsbevuxen -	20 år	150 685	4 439	-	329 854	329 854
Näringsrik	100 år	753 424	115 660	-	403 690	593 280

3.4.2 Arbetsmaskiner och lagring

På en torvtäkt används arbetsmaskiner och torv lagras. Data från utsläppen kommer ifrån Lundblad et al. (2016) (Tabell 4). För att beräkna det totala utsläppet för transport och arbetsmaskiner multiplicerades utsläppen med 20 år. Därefter så multiplicerades de olika växthusgaserna med respektive växthusgas (Tabell 1). För lagringens utsläpp användes samma metod. Det totala utsläppet från transport, arbetsmaskiner och lagring är 46,0 kg CO_{2ekv}/ton TS torv (43,1 kg CO_{2ekv}/ton TS torv när transport är exkluderat, se kapitel 3.4.3)

Tabell 4. Växthusgasutsläpp från transport och arbetsmaskiner samt lagring (Lundblad, et al., 2016).

		kg CO ₂ /ha/år	kg CH ₄ /ha/år	kg N ₂ O/ha/år
Transport & arbetsmaskiner		1598,2	0,04	1,1
Lagring		2500		

3.4.3 Transport

För att kunna se hur stor del transport har så beräknades utsläppen för Vännmuren till pyrolysanläggningen i Brista. Detta för att få ut utsläppen som exakt transporten medför utan arbetsmaskiner i föregående kapitel 3.4.2. För att transportera styckestorven kommer både lastbil och tåg användas. Där först styckestorven går med lastbil från Vännmuren till Mackmyraterminalen i Forsbacka och därefter med tåg via Gävle till Brista. För att beräkna avståndet för lastbil och tåg har GoogleMaps använts. Lastbilssträckan är ca 30 km och totala tågsträckan är ca 153 km.

För att beräkna lastbilens utsläpp per km så har dieselvärdet 35,28 GJ/m³ (Energimyndigheten, 2017b) multiplicerat med en tung lastbils emissionsfaktor (Naturvårdsverket, 2018). Bränsleförbrukning är på 5,8 l/km (Andersson & Frisk, 2013)

och lastbilen har en lastkapacitet på 119 MWh/lastbil (Borg Dunge, 2018). En lastbils utsläpp blir 1,07 kg CO_{2ekv}/km och lastkapaciteten med Vännmurens styckestorv med 40 % fukthalt blir 23,8 ton TS torv. Utsläppen kan variera beroende på körstil och körförhållanden. För att validera utsläppet kan det jämföras mot den sammanställda tunga lastbilens utsläpp 2013 som var på 0,97 kg CO_{2ekv}/km (Palm, 2015). Ett värde på 1,07 kg CO_{2ekv}/km således rimligt då transporten mestadels är på landsvägar.

Tåget har antagits använda marginalet, som är 887,5 kg/MWh (Se kapitel 3.4.6 och bilaga 1). Tåget elförbrukning är 0,29 MJ/ton km (GBR, 1999). Det medför ett utsläpp på 71,5 kg CO_{2ekv}/ton km. Tågens lastkapacitet är på 1 100 ton med antagandet densitet av styckestorv på 330 kg/m³ (Sundén, 2018) och med en styckestorv med fukthalt på 40 % så kan totalt 785,7 ton TS torv lastas.

Totalt har transporten utsläpp på 2,89 kg CO_{2ekv}/ton TS torv, där lastbil har 1,49 kg CO_{2ekv}/ton TS och tåg 1,39 kg CO_{2ekv}/ton TS torv, eller 2,75 kg CO_{2ekv}/ton TS torv. För att inte räkna med transport två gånger så subtraheras transportens utsläpp från arbetsmaskiner och lagring i kapitel 3.4.2.

3.4.4 Pyrolys

I pyrolysen så används det effektiva värmevärdet för Vännmurens styckestorv, vilket är 19,63 MJ/kg TS, samt generella effektiva värmevärdet, vilket är 21,5 MJ/kg TS. I anläggningen antas torven ha en fukthalt på 40 % och för att beräkna det nya värmevärdet används ekvation 1 nedan,

$$LVH_M = LVH - 2,45 * \left(\frac{M}{100 - M} \right) \quad (1)$$

där M är fukthalt och LVH är torvens effektiva värmevärde. Det nya värdet blir 18,0 MJ/kg TS för Vännmuren och 19,87 MJ/kg TS för generella värdet. Pyrolysanläggningen kommer att ha energibalansen där 5,5 MW av torvens energiinnehåll blir energi ut till fjärrvärmenätet och resterande av energin används i rökgaskondenseringen eller är kvar i biokolet. I processen kommer anläggningen dessutom att förbruka 310 kW för att driva maskiner och torkning. Ut till fjärrvärmenätet kommer ca 1,81 MWh/ton TS torv eller 2,00 MWh/ton TS torv. Torven antas innehålla 52,4 % kolhalt i torrt tillstånd i alla olika scenarier. I pyrolysning kommer hälften av kolet stanna kvar i produkten biokol och resterande bli CO₂. Utsläppen innehåller endast CO₂ då processgasen är fullt oxiderad och kan inte innehålla CH₄ (Rensmann, 2018) samt att lustgasen antas vara 0. Utsläppen blir 960,7 kg CO₂/ton TS torv.

För att beräkna utsläppet för elförbrukningen så togs elförbrukningen som en andel av den producerade energin ut på fjärrvärmenätet, totalt ca 5,7 %. Som därefter multiplicerades med MWh/ton TS samt marginalet (Bilaga 1). Totalt förbrukades 91,63 kg CO_{2ekv}/ton TS eller 101,21 kg CO_{2ekv}/ton TS.

3.4.5 Referensenergi

När pyrolysanläggningen byggs kommer medföra en förändring i fjärrvärmenätet. Den effekt som kommer produceras av pyrolysanläggningen kommer att ersätta andra bränslen under de 7500 timmar som den är i drift. Marginal produktionsmixen är uppdelad 200 timmar bioolja, 1200 timmar pellets, 1500 timmar värmepump och 1400 timmar avfall, 1600 timmar skogsflis och 1600 timmar direktvärme från Brista. (Sandberg, 2018). De koldioxidutsläpp som användes var 5 kg CO_{2ekv}/MWh för bioolja, 18 kg CO_{2ekv}/MWh för pellets, 130 kg CO_{2ekv}/MWh för avfall, 11 kg CO_{2ekv}/MWh för skogsflis. (Värmemarknadskommittén, 2016).

En värmepump används under vintern och oftast även under hösten och våren. Den använder sig av el som omvandlas till värme med en COP faktor. För att få ut koldioxidutsläppet för värmepumpen använder man sig av marginaleden då det är den som ersätts först. Den data som har används för att hitta marginaleden är ifrån (IVL, 2017). Det klimattunga scenariot som användes som rådata. Detta för att pyrolysanläggningen antas vara i bruk år 2021 och det är klimattunga scenariot som har liknade värden för det året. För att se beräkningar och antaganden se bilaga 1. Elmarginalmixens utsläpp blir 887,5 kg CO_{2ekv}/MWh och med en COP faktor på 3,2 medför att värmepumpens utsläpp är 277 kg CO_{2ekv}/MWh. Direktvärme är att ett kraftvärmeverk använder ångan till värmeproduktion istället för elproduktion (Karlsson, 2016). Det betyder att förändringen blir att Bristaverket kommer att kunna styra bort mer marginaled.

För att beräkna ut den totala produktionsmixen har utsläppen dividerats med omvandlingsfaktorn som har subtraheras med nettoelproduktionen multiplicerad med marginaleden (Tabell 5). Talet multiplicerades sen med andelen och till sist summerades alla värden ihop för att få ut totalen på 170,9 CO_{2ekv}/MWh. För att få ut referensenergin multiplicerades totala produktionsmixen med energin ut på fjärrvärmenätet från kapitel 3.4.4. Omvandlingsfaktorn och nettoelproduktion är ifrån (Sandberg, 2018).

Tabell 5. Marginalproduktionsmixen. Nettoelproduktion är elproduktion reducerad med lokal last/driv-el.

Bränsle	Timmar	Andel (%)	kg CO ₂ ekv/ MWh _{bränsle}	Omvandlings- faktor MWh värme/MWh _{bränsle}	Nettoelproduktion MWh _{el} / MWh _{värme} ¹	kg CO ₂ ekv/ MWh _{värme} för produktionsmix
Bioolja	200	2,7	5	0,90	-	0,1
Pellets	1200	16	18	0,90	-	3,2
Värmepump	1500	20	887,5	3,2	-	55,5
Avfall	1400	18,7	130	0,80	0,25	-10,9
Skogsflis	1600	21,3	11	0,74	0,37	-66,3
Bortstyrd el (Direktvärme)	1600	21,3	887,5	1	-	189,3
<i>Totala produktions mixen</i>	<i>7500</i>	<i>100</i>				<i>170,9</i>

3.4.6 Biokol

Biokolsutbytet antas vara 0,3 TS biokol/TS torv. Den kommer därefter att adderas en fukthalt som beräknas med ekvationen 2,

$$Producerad\ biochar_M = Biochar\ TS * (1 + M) \quad (2)$$

där M är fukthalten. Biokolet kommer användas för att adsorbera 0,47 kg CO₂/kg biokol, som nämndes i kapitel 2.7. Först kommer biokolet ha en fukthalt på 10 % vid adsorbering och sen har fukthalten antagits till 50 % vid användning till betong. Om biokol skulle läggas på mark så har kolet en nedbrytningshastighet som leder till att 90 % av kolet finns kvar efter 100 år. För biokolet kommer användas till betong som är fast material och har en omloppstid på ca 100 år, så antas biokolet inte nedbrytas något under tidsperspektivet.

Vanlig betong innehåller cement, sand och grus. Där cement bidrar med det största växthusgasutsläppet. När biokol adderas i denna mix så kommer mängden av olika material att förändras men volym är det som är relevant. Dimensioner och viktinnehåll för standardbetong användes Bianco et al (2017) med den funktionella enheten 1 dm³ och för växthusgasutsläpp användes rapporten *The Greenhouse Gas Emissions from Portland Cement Concrete Pavement Construction in China* av Ma et al. (2016) som multiplicerades GWP (Tabell 1), se tabell 6. Biokol har antagits ha samma transportutsläpp som sand, vilket består av 36 % av sandens växthusgasutsläpp.

¹ Multiplieras med marginalmixen för el, 887,5 kg CO₂ekv/MWh el

Tre olika substitueringar för betong med biokol har beräknats (Tabell 6). I första fallet har biokolet ersatt sand och cement (S&C), andra grus och cement (G&C) och i sista endast cement (C). Minskningen av cement är 0,1 % av densiteten standardbetongen och minskningen för sand och grus är 0,9 %. Som indata för densitet för betong med biokol användes medelvärde av BC3 densitet som är 2,11 ton/m³ (Cuthbertson, 2018). För att beräkna ut betongkonvertering dividerades den producerade biokolet med fukt med mängden biokol i betong. Därefter multiplicerades det värdet med densiteten för betong med biokol som till sist dividerades densiteten för standardbetongen. För att beräkna klimatpåverkan så multiplicerades vikten med betongkonverteringen och GWP, se tabell 7 för sammanställningen. För att beräkna biokols klimatpåverkan subtraherades betong med biokol med respektive standardbetong.

Tabell 6. Indata för standardbetong och betong med biokol samt GWP från betongprodukter

	Standard- betong	Betong med biokol (S&C)	Betong med (G&C)	Betong med (C)	GWP (kg CO_{2ekv} /ton betongprodukt)
Cement (ton)	0,45	0,448	0,448	0,448	1122,0
Biokol (ton)	0,00	0,022	0,022	0,002	0,082
Sand (ton)	0,66	0,64	0,66	0,66	0,229
Grus (ton)	1,23	1,23	1,21	1,23	56,31
Densitet (vikt/m³)	2,20	2,11	2,11	2,21	-
Betongkonvertering (betong ton/m³ ton ts torv)	-	19,68	19,68	205,32	-
Biokol av betongs totalvikt	0,0%	1,0%	1,0%	0,1%	-

Tabell 7. Sammanställning av substitueringen av standardbetong och betong med biokol. kg CO_{2ekv}/ton TS torv

	Standard- betong (S&C)	Betong med biokol (S&C)	Standard- betong (G&C)	Betong med (G&C)	Standard- betong (C)	Betong med (C)
Cement	9 936	9 888	9 936	9 888	103 666	103 159
Biokol	0	0	0	0	0	0
Sand	3	3	3	3	31	31
Grus	1 363	1 363	1 363	1 341	14 221	14 221
Total	11 302	11 254	11 302	11 232	117 918	117 411

3.4.7 Skog

För att beräkna den årliga tillväxten av skog i Svealand för näringsfattig och näringsrik torvmark har data från Riksskogstaxeringen används. Björn Hånell har sammanställt den och finns bifogad i bilaga 2. För att dela in bestånden till näringstillstånd näringsrik och näringsfattig användes rapporten (Lindgren & Lundblad, 2014). Näringsrik torvmark är högört, lågört och blåbär och näringsfattig är högstarr, bättre ris, lågstarr och sämre ris. Ett medelvärde för tillväxten i odikad och dikad mark har beräknats och delats in utifrån ståndortsindex (Tabell 8). Data för ståndortsindex kan ses i bilaga 3. Om skogsmarken gödslas och har optimala dräneringsförhållandens så kan tillväxten vara 10 m³sk/ha/år i mellersta och södra Sverige (Vattenfall, 1997). Den tillväxten har antagits för Med tillväxtåtgärder. Vännmuren antar ha samma tillväxt som Svealand då ligger geografisk i södra Gävleborgs län med liknade vegetationsperiodlängd och temperatursumma som i Svealand (Perttu & Morén, 1995).

Tabell 8. Årlig tillväxt av skog på näringsfattig och näringsrik torvmark.

Skogskubikmeter, m³sk, är hela trädets stamvolym med topp och bark.

Näringstillstånd Dräneringstillstånd m³ sk/ha/år Ståndortsindex

<i>Näringsfattig</i>	Odikad	2,375	T16
	Dikad	2,525	T16
<i>Näringsrik</i>	Odikad	5,066	T22
	Dikad	6,2	T24
<i>Med tillväxtåtgärder</i>	Dikad	10	T30

För att beräkna när gallrings införs och i hur stor styrka har programmet INGVAR använts. INGVAR är ett beslutstöd för röjning och gallring (Skogforsk, u.d.). Som indata har ståndortsindex, läget i landet 60,5 och 75 meter över hav samt har data från Anerud (2018), se bilaga 3. Sammanställning av när gallring sker och hur stort gallringstyrkan är samt omloppstiden ses i tabell 9. Ståndortindexet är högre med tillväxtåtgärder än T30 men benämns som T30 för INGVAR inte har en högre tillväxt för tall för beräkning av gallring

Tabell 9. Gallringsstyrka och omloppstid.

	<i>Gallring 1</i>	<i>År vid Gallring 1</i>	<i>Gallring 2</i>	<i>År vid Gallring 2</i>	<i>Gallring 3</i>	<i>År vid Gallring 3</i>	<i>Omloppstid (år)</i>
<i>T16</i>	35 %	63					135
<i>T22</i>	36 %	40	23,67 %	64			105
<i>T24</i>	35 %	34	25,45 %	49			100
<i>T30</i>	33 %	24	25 %	34	25,76 %	44	85

Sedan för att beräkna den totala summan gallrat bestånd användes ekvation 3, om fler än en gallring så summerades alla gallringsuttagen.

$$\text{Gallringsuttag} = \text{Tillväxt} * \text{år} * \text{gallringuttag (\%)} * 0,84 \quad (3)$$

Där tillväxten är i m³sk så antas gallringen endast ske i m³fub, fast volym utan bark som antas till 1 m³sk=0,84 m³fub. I det 20 år perspektivet kan skogen endast växt i 20 år. I det 100-åriga perspektivet så kan skogen växt i 80 år eller i 100 år. För att beräkna den totala volymen vid 20 år multiplicerades tillväxten med 20. För att beräkna den totala volymen vid år 80 och 100 år multiplicerades tillväxten med 100 som sedan subtraheras med den totala gallringen (Tabell 10).

Tabell 10. Total gallring och skogsvolym

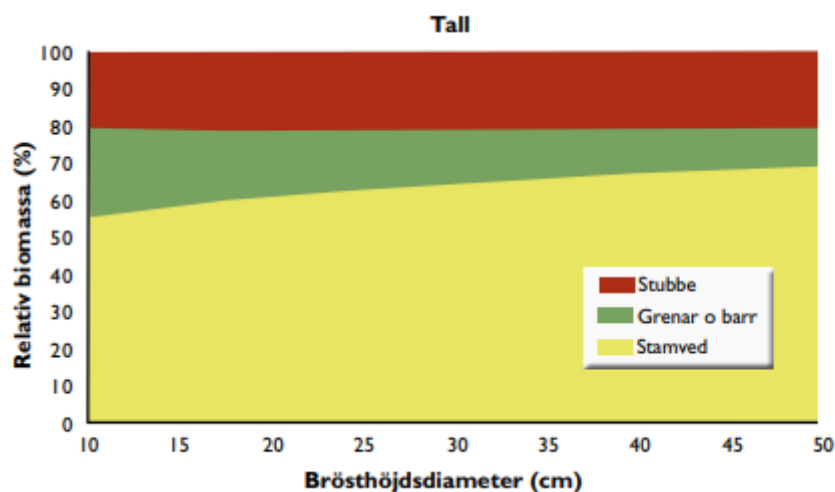
<i>Ståndortsindex</i>	<i>Tillväxt (m³sk/ha/år)</i>	<i>Total gallring (m³fub)</i>	<i>Total skogsvolym 20 år (m³sk)</i>	<i>Total skogsvolym 80 år (m³sk)</i>	<i>Total skogsvolym 100 år (m³sk)</i>
<i>T16</i>	2,375	44	48	146	194
<i>T16</i>	2,525	47	51	155	206
<i>T22</i>	5,066	126	101	280	381
<i>T24</i>	6,2	127	124	369	493
<i>T30</i>	10	233	200	567	767

När ett skogsbestånd växer så byggs ett nytt kolförråd upp och det minskar koncentrationen av CO₂ i atmosfären. Den har således en lagereffekt. Utöver det så har skogen en substitutionseffekt när skogen skördas, då den ersätter andra produkter som fossila bränslen. Lagereffekten är -1375 kg CO₂/m³sk och beräknas med ekvation 4

$$0,75 * 0,5 * \frac{44}{12} * 1000 = -1375 \text{ kg } CO_2/m^3\text{sk} \quad (4)$$

Där 0,75 är ton helträdsbiomassa, 0,5 är kolhalten, 44/12 är kol till CO₂ -ratio och 1000 för att konvertera från ton till kilogram. Lagereffekten multipliceras sedan med skogsvolymen. När ett träd skördas så får den en substitutionseffekt. Två olika värden kommen användas här, då i ett skogsbestånd som inte är fullväxt har inte samma substitutionseffekt som ett fullväxt skogsbestånd. De två värdena är 466 och 719 kg CO_{2ekv} reducering/m³ av avverkad biomassa (Lundmark, et al., 2014). För det högre värdet används den avverkade skogen främst till konstruktion och bioenergi. Vid fallen av T16 är skogen inte klar i sin omloppstid så därför används den lägre substitutionseffekten på dessa. För T22 och högre så antas den högre substitutionseffekten.

För att få ut fördelningen för ett träd användes figur 8 och stamved antogs till 70 %, grenar och barr till 10 % och stubbe till 20 % då avverkning antar ske i slutstadiet av ett träds omloppstid, dvs när stammen har större brösthöjdsdiameter.



Figur 8. Tallens relativa biomassa fördelat på stubbe, grenar och barr samt stamved. (Egnell & Skogsstyrelsen, 2013)

För fallet med T16 så antogs produkterna samma som Lundblad et al (2016), som nämndes i kapitel 2.8, där 45 % går till energi, 33 % till pappersmassa och 22 % för sågade varor och träbaserade skivor. Inget uttag av avverkningsrester eller stubbar antas ske.

Det gallrade beståndet antas inte ha någon lagereffekt, då mestadels av biomassan kommer ha lämnat atmosfären vid omloppstidens slut. Den gallrade biomassan kommer ha en substitutionseffekt. Vid fallen av T16 så antar det lägre substitutionseffekten för gallrade beståndet och för T22 och högre så antar gallringen ha det högre substitutionseffekten.

Av det totala helträdsbiomassa antar det stubbe samt grenar och barr ha en lagereffekt. Ingen hänsyn till nedbrytning av beståndet antas. För den marginella substitutionseffekten så går mer avverkad massa till energi och sågade produkter så andelen energi och sågade varor borde i så fall öka. De antar öka med 5 % var och pappersmassa minskar i följd med 10 %. Pappersmassa samt sågade varor antar ha en lagereffekt vid omloppstiden slut. Det blir då 30 % av helträdsbiomassan (stubbe + grenar och barr) samt andelen pappersmassa och sågade varor multiplicerat med stamved på 70 % (Tabell 11).

Tabell 11. Fördelning av produkter och den totala lagereffekten av helträdsbiomassa

	<i>Energi</i>	<i>Pappersmassa</i>	<i>Sågade varor</i>	<i>Lagereffekt av helträdsbiomassa vid slutavverkning</i>
<i>T16</i>	45 %	33 %	22 %	68,5 %
<i>T22-T30</i>	50 %	23 %	27 %	65 %

Lagereffekten i tabell 11 multipliceras sen med den totala skogsvolymen i tabell 10. Sammanställning finns i tabell 12.

Tabell 12. Lagereffekten för olika omloppstider och skogstillväxt

<i>Ståndortsindex</i>	<i>Lagereffekt kg CO₂/m³sk</i>	<i>Total lagringseffekt 20 år. kg CO₂</i>	<i>Total lagringseffekt 80 år. kg CO₂</i>	<i>Total lagringseffekt 100 år. kg CO₂</i>
<i>T16 (2,375 m³sk)</i>	-1375	- 65 300	- 137 500	- 182 300
<i>T16 (2,375 m³sk)</i>	-1375	- 69 400	- 146 200	- 193 800
<i>T22</i>	-1375	- 139 300	- 249 800	- 340 400
<i>T24</i>	-1375	- 170 500	- 440 700	- 440 700
<i>T30</i>	-1375	- 275 000	- 685 400	- 685 400

Tabell 13. Substitutionseffekten för de olika tidsperspektiven

<i>Ståndortsindex</i>	<i>Substitutionseffekt (kg CO_{2ekv} /m³ av avverkad biomassa)</i>	<i>Total substitutionseffekt 80 år. kg CO₂</i>	<i>Total substitutionseffekt 100 år. kg CO₂</i>
<i>T16 (2,375 m³sk)</i>	-466	- 88 500	- 110 700
<i>T16 (2,525 m³sk)</i>	-466	- 94 100	- 117 700
<i>T22</i>	-719	- 291 400	- 364 300
<i>T24</i>	-719	- 356 600	- 445 800
<i>T30</i>	-719	- 575 200	- 719 000

I tabell 13 är den totala substitutionseffekten för de olika omloppstiderna. Resultaten från tabell 12 och tabell 13 dividerades med 1800 för att konvertera från hektar till den funktionella enheten ton TS torv. Dessa sen har sen används i olika scenarierna där skog är inkluderad. Total lagringseffekt 20 år användes vid beskogning i 20-årigt tidsperspektiv. Lagereffekt och substitutionseffekt 80 år med beskogning användes vid torvutvinning scenarierna i ett 100-årigt tidsperspektiv samt 100 år vid beskogning i samma tidsperspektiv.

Det antas att behöva gödslas för att behålla en hög tillväxt och uthållig skogsproduktion. Det antas inte behöva en initial gödsling då torvlagret antas vara mindre än 30 cm och rötterna når det jorden under torven. En gödsling med 80 kg kalium/ha och 40 kg fosfor/ha antas ske efter varje gallring i T30. I näringsfattig torvmark antas även ske 150 kg/ha kväve efter varje gallring. Då det är totalt tre gallringar så multipliceras först mängden av de olika gödslingarna med miljöpåverkan i tabell 14. Sedan så multipliceras det med 3 för gallringstillfällena och till sist med GWP i tabell 1.

Tabell 14. Miljöpåverkan av P & K gödsel. (Ericsson, 2015)

	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Enhet</i>
<i>CO₂</i>	3,2	2,9	0,44	kg / kg gödsel
<i>CH₄</i>	3,1	0,072	0,0011	kg / kg gödsel
<i>N₂O</i>	11,5	0,003	2*10 ⁻⁶	kg / kg gödsel
<i>CO_{2ekv}</i>	6,33	3,18	0,47	kg / kg gödsel

3.5 Vännmuren

Vännmuren bestod till huvuddel av en produktiv skogsmark. Antar att det är mellan 80–90 % som var skogbevuxen torvmark och resterande var dränerad torvmark utan skog. Då det inte fanns växtinventering på vad torvmarken hade för växtbestånd, så kunde inte torvmarken klassificeras med den metoden. Ifrån analysdata från Neova styckestorven så var medelvärdet 52,4 % TS av C och 1,47 % av N. C/N-kvoten blir då ca 35,5 vilket betyder att torven är näringsrik.

3.6 Känslighetsanalys

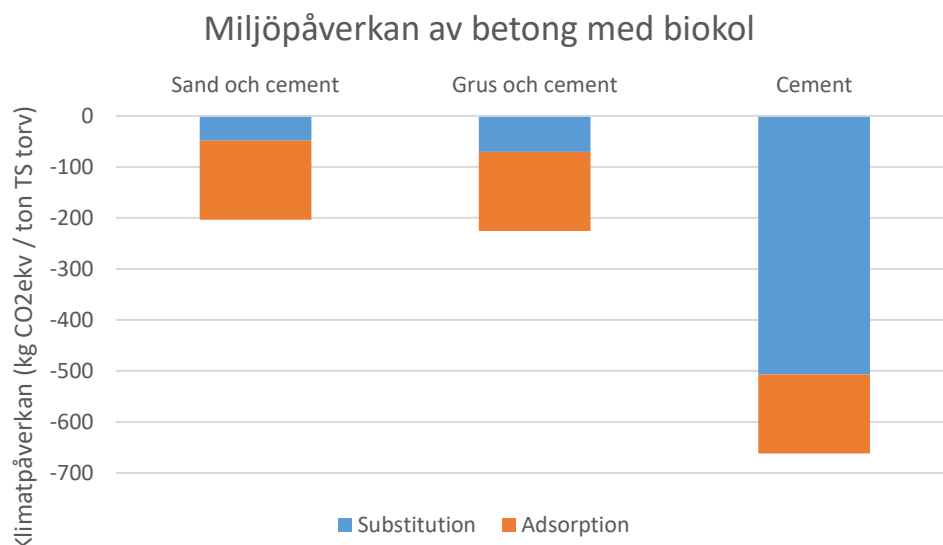
I känslighetsanalysen så undersöktes olika parametrar och dess påverkan på livscykelanalysen. För att se hur mycket utsläppen ändrades i de olika scenarierna. Varje parameter ökade och minskade med 10 %. De parametrar som var med i känslighetsanalysen är följande: kolutbyte till biokol, biokolutbyte, vattenhalt i biokol, energiinnehåll i torv, torv TS i torvtäkt, tillväxt med åtgärd, arbetsmaskiner och lagring, energibalans, vattenhalt i styckestorv. I fallet för arbetsmaskiner och lagring så ändrades inte en parameter utan den totala processens utsläpp, då för att se om det gjorde en större påverkan.

I känslighetsanalysen så undersöktes torvmark utan skog, vilket leder till de flesta scenarier undersökts. För skogbevuxen torvmark blir det endast att referensscenariot är beskningsfallet. De enda scenarierna som inte undersökts är när gödsling av kväve behöver göras på fattig torvmark med tillväxtåtgärder. Styckestorven har energiinnehållet 21,5 MJ/kg TS i känslighetsanalysen.

För att få ett sammanställt resultat som var enkelt att tyda så togs ett medelvärde ut för varje fall som hade ändrat sin påverkan. De scenarierna som hade ingen skillnad i utsläpp bortsågs i det medelvärdesberäkning. Skog med tillväxtåtgärder fick höga extremvärden och exkluderades därför.

4. Resultat

Betong med biokol ger olika klimatnytta beroende på vilken produkt som biokolet ersätts (Figur 9). Störst klimatnytta ges för att ersätta cement med -661,9 kg CO_{2ekv}/ton TS torv (-330,8 kg CO_{2ekv}/MWh), sen grus och cement med -225,6 kg CO_{2ekv}/ton TS torv (-112,7) kg CO_{2ekv}/MWh), och till sist sand och cement med -203,7 kg CO_{2ekv}/ton TS torv (-101,8 kg CO_{2ekv}/MWh). Värdena med funktionella enheten MWh gäller för det högre energivärdet på torv.

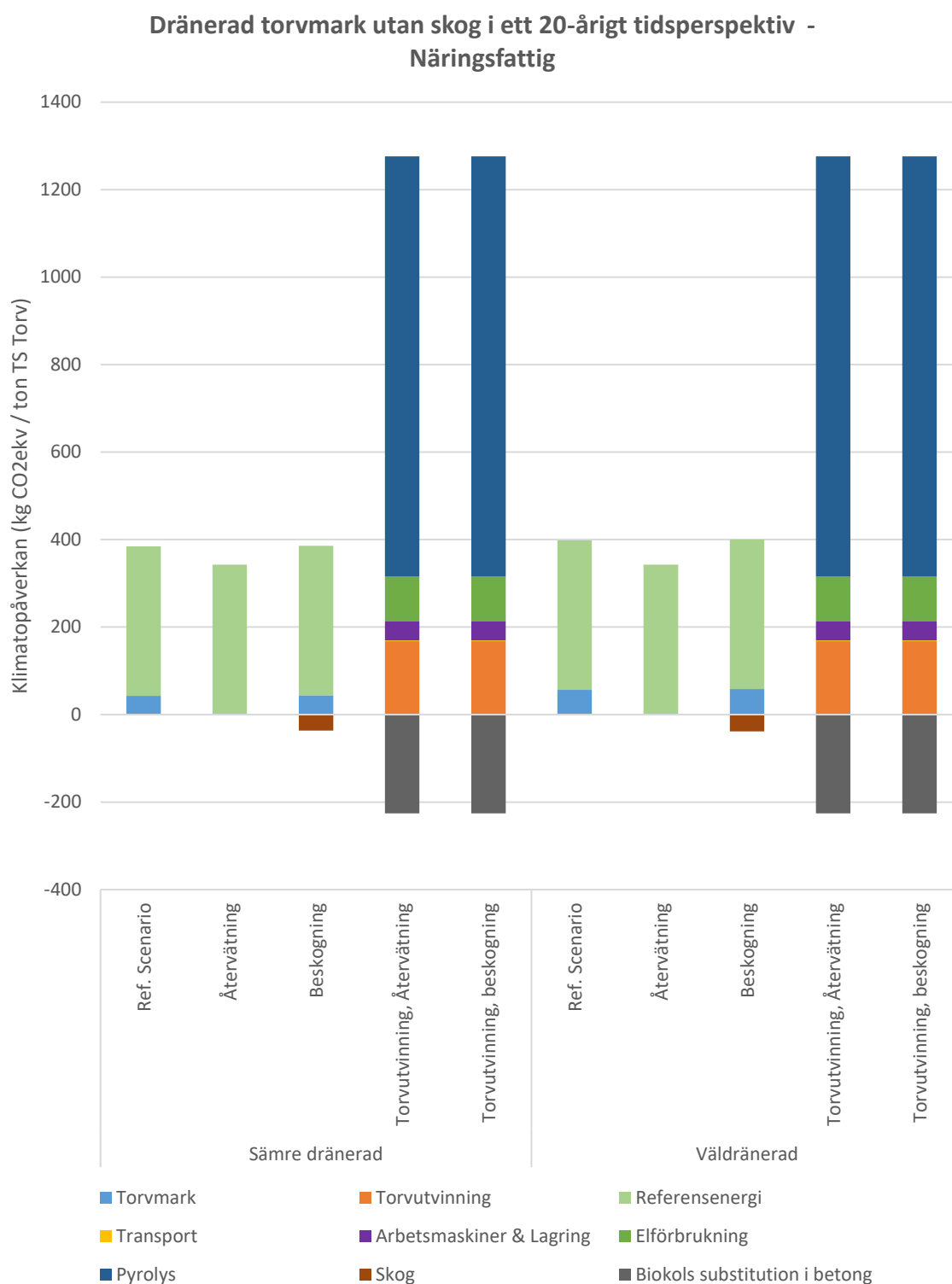


Figur 9. Klimatpåverkan för betong med biokol.

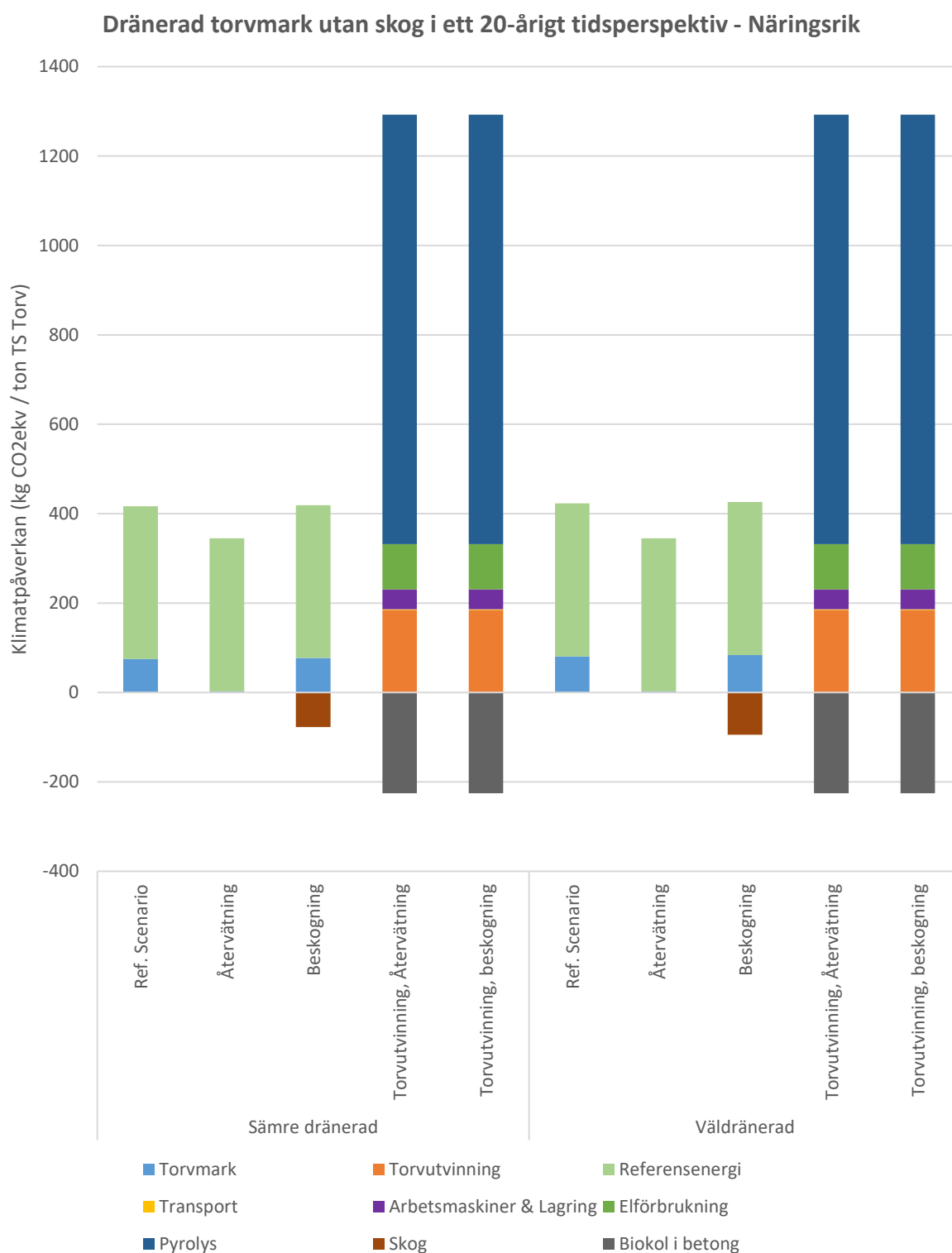
4.1 Torvmark i ett 20 år perspektiv

I ett 20-årigt tidsperspektiv kommer torvutvinningen släppa ut mer CO_{2ekv} än torvmarken i referensscenariot och behandlingsscenariorna (Figur 10 & 11, Bilaga 4 figur 1 & 2). Torvmarkens utsläpp minskar mest när marken behandlas till våtmark via återvätning. Utöver det kommer utsläppen från pyrolysering vara ca 3,5 ggr större än referensenergin. När biokol adderas in i betong kommer en adderad klimatnytta att ske som minskar det totala utsläppet för de scenarierna. I figur 10 kan man se utsläppen från näringsfattig torvmark i de olika scenarierna och i figur 11 kan man se utsläppen för näringsrik torvmark för dränerad torvmark utan skog. I bilaga 4 finns figurerna för skogbevuxen torvmark. De olika scenarierna är uppdelade beroende dräneringstillstånden, sämre dränerad och väl-dränerad. I det 20-åriga tidsperspektivet kommer efterbehandlingen inte ha startat efter torvutvinningen. Eventuella skillnader kan inte fastställas på så kort tidsperspektiv.

En näringsrik torvmark kommer att släppa ut mer CO_{2ekv} än en näringsfattig i både referensscenariot och i scenariot beskogning. Skogen har en högre tillväxt på näringsrik torvmark som leder till en större minskning av utsläpp.



Figur 10. Fördelningen av de olika utsläppen i de olika scenarierna för näringsfattig dränerad torvmark utan skog. Referensscenariot är att lämna torvmarken i befintligt tillstånd och inte göra någon åtgärd. Återvätning är att behandla torvmarken till våtmark och beskogning är att behandla torvmarken med skog. Torvutvinning är att pyrolysera torv med biokol som produkt som används i betong. Ett negativt värde minskar växthusgasutsläppen och ett positivt värde ökar växthusgasutsläppen



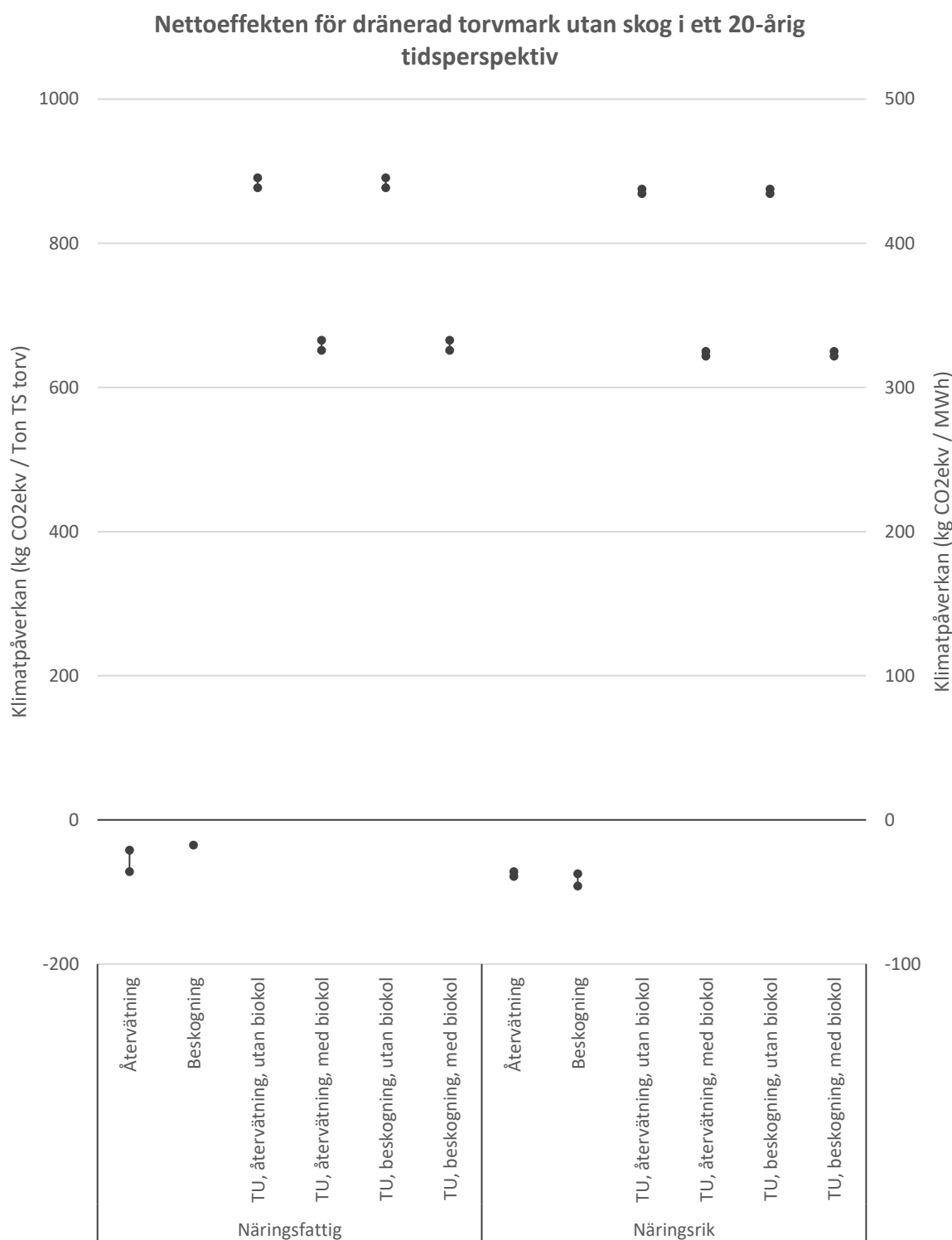
Figur 11. Fördelningen av de olika utsläppen i de olika scenarierna för näringsrik dränerad torvmark utan skog. Referensscenariot är att lämna torvmarken i befintligt tillstånd och inte göra någon åtgärd. Återvätning är att behandla torvmarken till våtmark och beskogning är att behandla torvmarken med skog. Torvutvinning är att pyrolysera torv med biokol som produkt som används i betong. Ett negativt värde minskar växthusgasutsläppen och ett positivt värde ökar växthusgasutsläppen.

4.2 Nettoeffekten i 20 årigt tidsperspektiv

Under ett 20-årigt tidsperspektiv kan utsläpp av växthusgaser minskas på ej skogbevuxen dränerad torvmark. Det minskar när torvmarken behandlas, antingen med återvätning eller beskogning (Figur 12). Ett minskade av växthusgasutsläpp sker både på en torvmark som är näringsfattig eller näringsrik. I figur 12 används både funktionella enheten ton TS torv och MWh. När torv utvinns och pyrolyseras så sker det inte ett minskade av växthusgasutsläpp. Utsläppen från pyrolysen samt torvutvinningen är alldeles för stora jämfört med referensscenariot. Om biokol använts till betong kommer växthusgasutsläppen att minska. Biokol ger en klimatnytta när den används i betong med -112,7 kg CO_{2ekv}/MWh och används för att ersätta grus och cement. Totalt sett kommer torvutvinning och pyrolysering öka växthusgasutsläppen i atmosfären i ett 20-årigt tidsperspektiv. Där utsläppen blir 325,7–332,7 kg CO_{2ekv}/MWh för näringsfattig och 321,7–324,9 kg CO_{2ekv}/MWh för näringsrik (Tabell 15).

Tabell 15. Intervallen för nettoeffekten för ej skogbevuxen torvmark i ett 20-årigt tidsperspektiv, kg CO_{2ekv}/MWh

<i>Scenario</i>	<i>Näringsfattig</i>		<i>Näringsrik</i>	
	Minvärde	Maxvärde	Minvärde	Maxvärde
<i>Återvätning</i>	-36,0	-21,0	-39,2	-36,0
<i>Beskogning</i>	-18,3	-17,4	-45,9	-37,4
<i>Torvutvinning – Utan biokol</i>	438,5	445,4	434,5	437,6
<i>Torvutvinning – Återvätning</i>	325,7	332,7	321,7	324,9
<i>Torvutvinning – Beskogning</i>	325,7	332,7	321,7	324,9

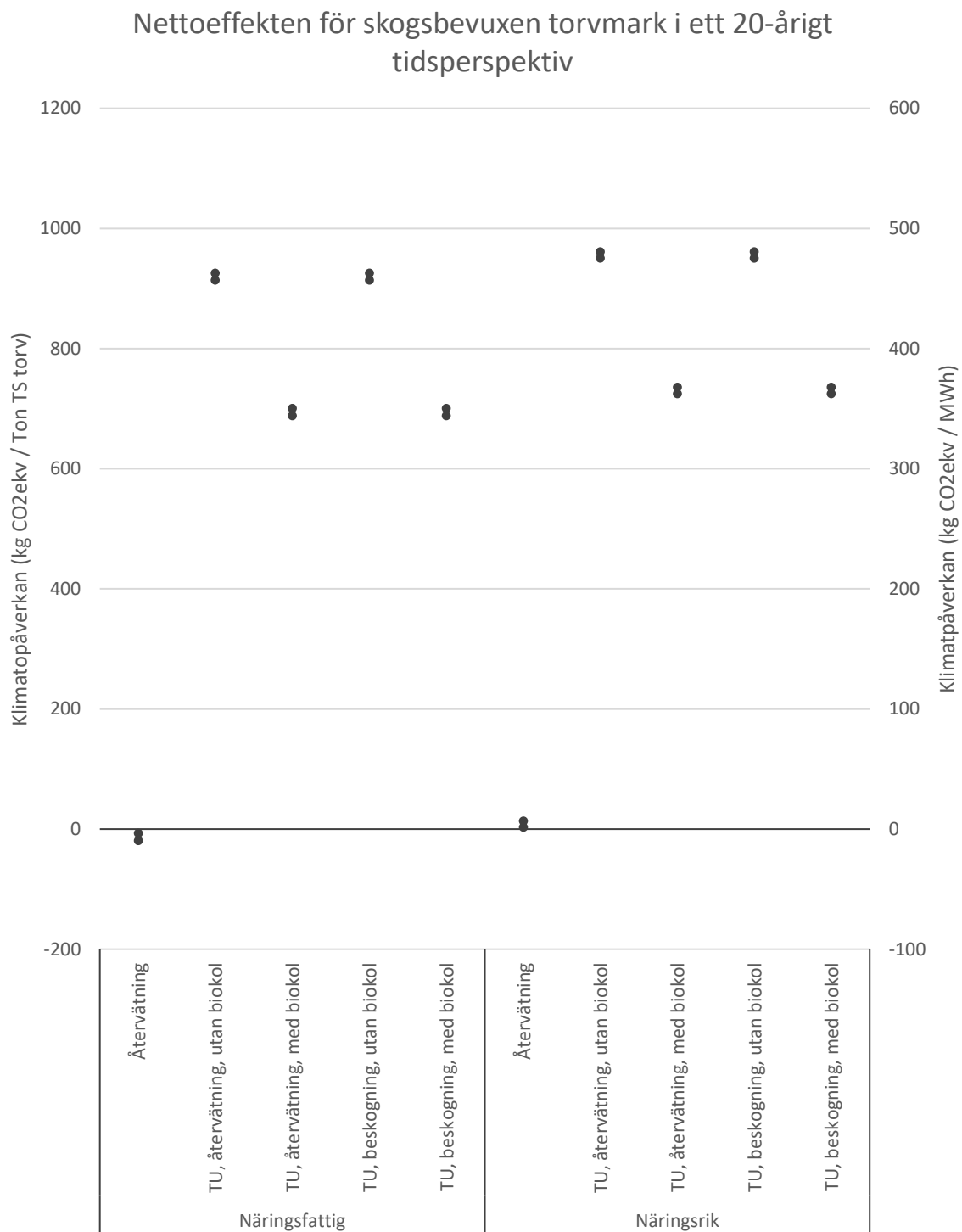


Figur 12. Nettoeffekten för dränerad torvmark där varje scenario jämförs med referensscenariot. Ett negativt värde minskar växthusgasutsläppen och ett positivt värde ökar växthusgasutsläppen. Max- och min-värdena är intervallet som uppstår beroende på dräneringstillståndet på torvmarken. TU står för torvutvinning. Scenariorna utan biokol är när biokol inte används i betong och scenariorna med biokol är när biokol används i betong. I återvätning så behandlas torvmarken till en våtmark och i beskogning så behandlas torvmarken med skog.

Under ett 20-årigt tidsperspektiv kan växthusgasutsläppen minska på skogbevuxen torvmark. Det kan endast ske på näringsfattig mark och där torvmarken återväts (Figur 13). I alla andra scenarier ökar utsläppen jämfört med referensscenariot. I figur 13 användes både funktionella enheten ton TS torv och MWh. Torvutvinningen och pyrolseringen kommer att öka växthusgasutsläppen i ett 20-årigt tidsperspektiv. Utsläppen från pyrolysen samt torvutvinningen är alldeles för stora jämfört med referensscenariot. Om biokol använts till betong kommer växthusgasutsläppen att minska. Biokol ger en klimatnytta när den används i betong med -112,7 kg CO_{2ekv}/MWh och används för att ersätta grus och cement. Det totala nettoutsläppen är 343,9-349,9 kg CO_{2ekv}/MWh för näringsfattig och 362,3-367,6 CO_{2ekv}/MWh för näringsrik (Tabell 16).

Tabell 16. Intervallen för nettoeffekten för skogbevuxen torvmark i ett 20-årigt tidsperspektiv, kg CO_{2ekv}/MWh

<i>Scenario</i>	<i>Näringsfattig</i>		<i>Näringsrik</i>	
	Minvärde	Maxvärde	Minvärde	Maxvärde
<i>Återvätning</i>	-9,6	-3,5	1,5	6,7
<i>Torvutvinning – Utan biokol</i>	456,6	462,7	475,0	480,3
<i>Torvutvinning – Återvätning</i>	343,9	349,9	362,3	367,6
<i>Torvutvinning – Beskogning</i>	343,9	349,9	362,3	367,6



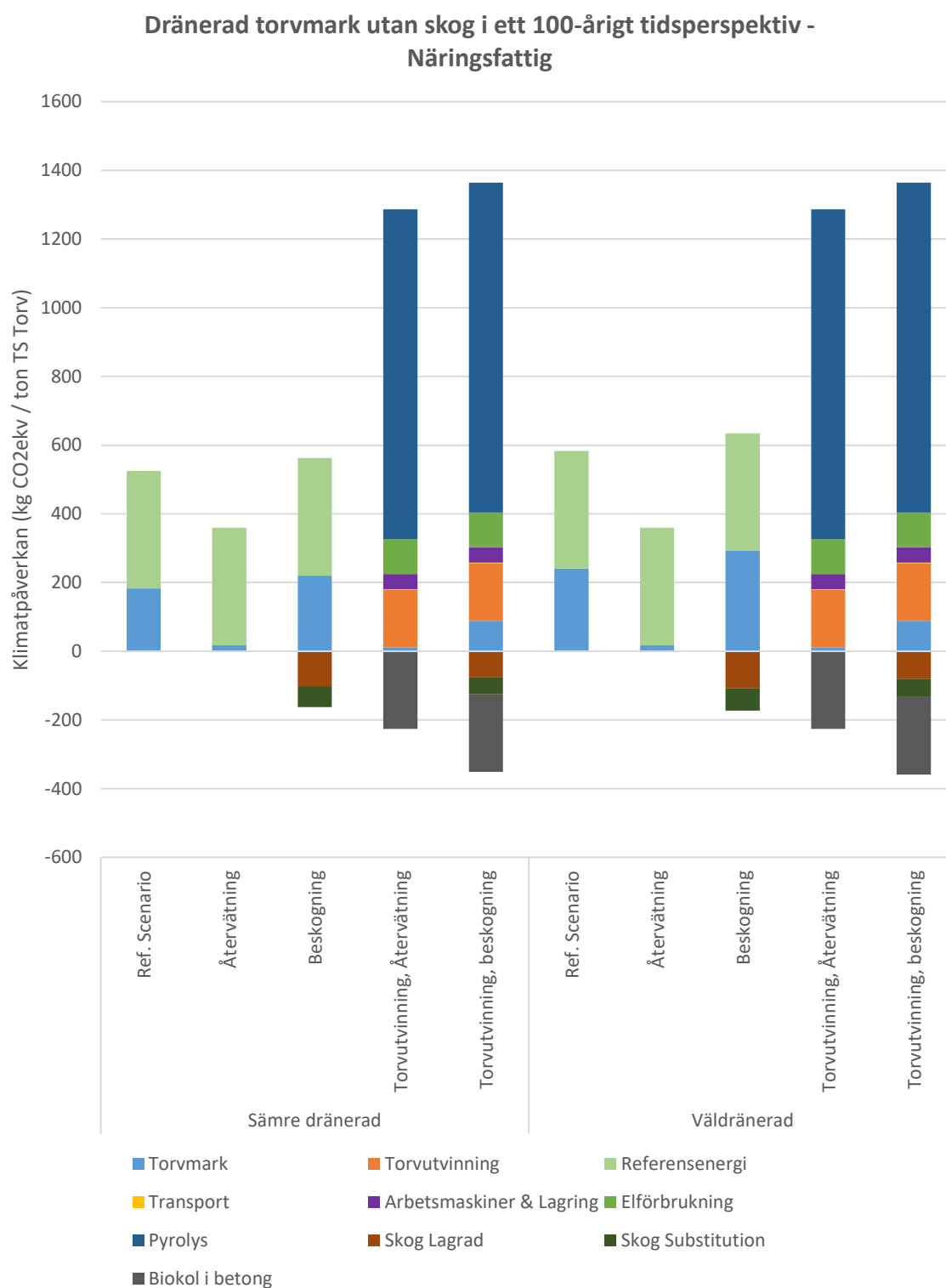
Figur 13. Nettoeffekten för dränerat torvmark där varje scenario jämförs med referensscenariot. Ett negativt värde minskar växthusgasutsläppen och ett positivt värde ökar växthusgasutsläppen. Max- och min-värdena är intervallet som uppstår beroende på dräneringstillståndet på torvmarken. TU står för torvutvinning. Scenariorna utan biokol är när biokol inte används i betong och scenariorna med biokol är när biokol används i betong. I återvättning så behandlas torvmarken till en våtmark

4.3 Torvmark i ett 100-årigt tidsperspektiv

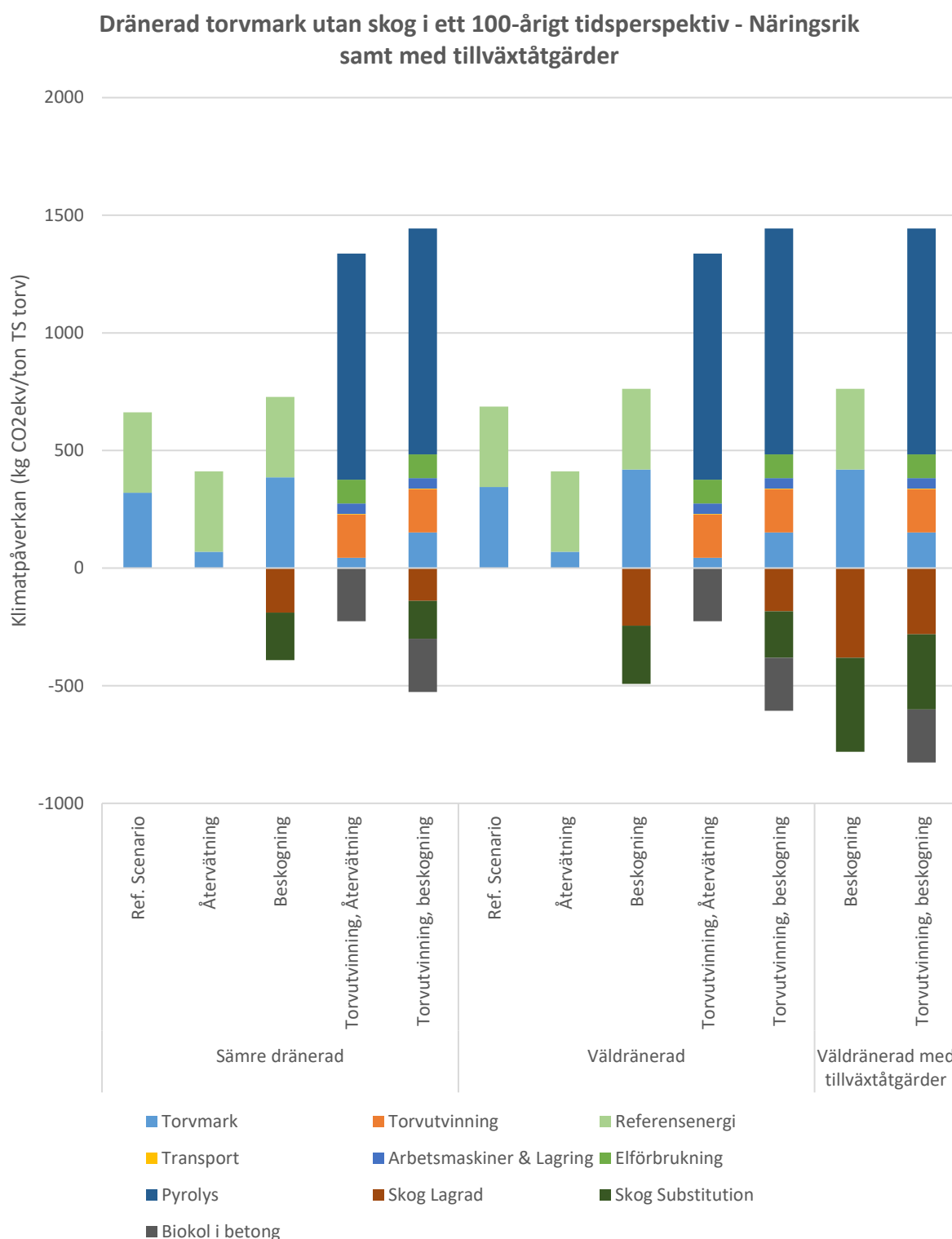
När återvätning sker på näringsfattig torvmark kommer växthusgasutsläppen från torvmarken att minska (Figur 14). Detta sker även på näringsrik torvmark (Figur 15). När man behandlar torvmarken med beskogning kommer torvmarkens utsläpp att öka. Detta sker då torvmarken i referensscenariot går till ett våtmarksliknade torvmark, där torvmarken åter igen binder in kol, lustgasutsläppen minskar och metangas ökar. Men totalt sett så minskar nettoutsläppen. Vid återvätning på näringsrik torvmark blir det mer växthusgasutsläpp än på näringsfattig torvmark. När torv pyrolyseras kommer ca 3,5 ggr större växthusgasutsläpp jämfört med referensenergin. Produkten biokol som används till betong minskar det totala utsläppet och gör en klimatnytta. Efterbehandling med beskogning ger en klimatnytta med både lagereffekt samt substitutionseffekt. I figur 14 kan man se utsläppen från näringsfattig torvmark i de olika scenarierna och i figur 15 kan man se utsläppen för näringsrik torvmark. I figur 15 finns även där man behandlar torvmark för att öka skogstillväxt ytterligare, som benämns väl-dränerad med tillväxtåtgärder.

Skogens effekt är som lägst i fallen av näringsfattig, högre i näringsrik och som störst när man utför åtgärder för att gynna skogstillväxt. Skogens lagrande effekt och substitutionseffekt är ungefärligt likartade. I näringsfattig skog är den lagrade effekten störst. När man beskogar på näringsrik torvmark eller utför skogstillväxtåtgärder på torvmark blir substitutionseffekten och lagereffekten större.

Torvmarkens utsläpp kommer att minska vid återvätning och torvutvinning för skogbevuxen torvmark (Bilaga 4, figur 3 & 4). Med tillväxtåtgärder kommer skogen ge en större klimatnytta jämfört skogen i referensscenariot.



Figur 14. Fördelningen av de olika utsläppen i de olika scenarierna för näringsfattig dränerad torvmark utan skog. Referensscenariot är att lämna torvmarken i befintligt tillstånd och inte göra någon åtgärd. Återvätning är att behandla torvmarken till våtmark och beskogning är att behandla torvmarken med skog. Torvutvinning är att pyrolysera torv med biokol som produkt som används i betong. Efter torvutvinningen så efterbehandlas torvmarken antingen via återvätning eller beskogning. Ett negativt värde minskar växthusgasutsläppen och ett positivt värde ökar växthusgasutsläppen



Figur 15. Fördelningen av de olika utsläppen i de olika scenarierna för näringsrik dränerad torvmark utan skog. Referensscenariot är att lämna torvmarken i befintligt tillstånd och inte göra någon åtgärd. Återvätning är att behandla torvmarken till våtmark och beskogning är att behandla torvmarken med skog. Torvutvinning är att pyrolysera torv med biokol som produkt som används i betong. Efter torvutvinningen så efterbehandlas torvmarken antingen via återvätning eller beskogning. Ett negativt värde minskar växthusgasutsläppen och ett positivt värde ökar växthusgasutsläppen

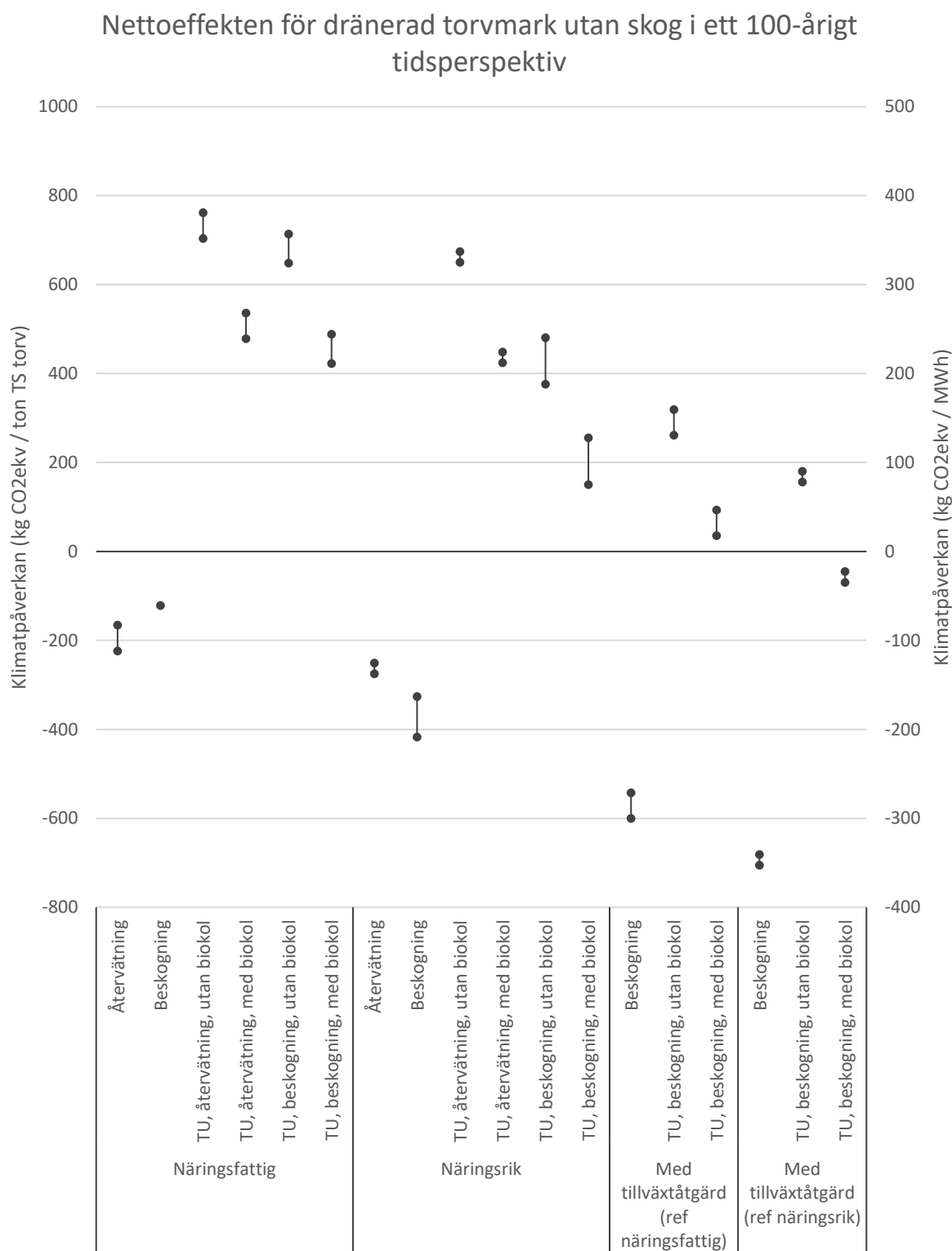
4.4 Nettoeffekten i ett 100-årigt tidsperspektiv

Om man behandlar dränerade torvmarker med återvätning eller beskogning så minskas växthusgasutsläppen (Figur 16). Klimatnyttan blir större då näringsrika marker behandlas. För näringsfattiga torvmarker ger en återställning till våtmark den största klimatnyttan. För torvutvinning på näringsfattig torvmark så är torvens växthusgasutsläpp 239,1–268,0 kg CO_{2ekv}/MWh och 211,2–244,1 kg CO_{2ekv}/MWh vid efterbehandlingarna återvätning respektive beskogning. För torvutvinning på näringsrik torvmark så är torvens växthusgasutsläpp 212,2–224,3 kg CO_{2ekv}/MWh och 75,2–127,6 kg CO_{2ekv}/MWh vid efterbehandlingarna återvätning respektive beskogning (Tabell 17).

När man utför skogsåtgärder på torvmark så ökar substitutionseffekten och lagereffekten, vilket leder till ökad klimatnytta och nettoeffekten minskar. Torvens växthusgasutsläpp vid tillväxtåtgärder är 17,8–46,7 kg CO_{2ekv}/MWh och -34,7–22,6 kg CO_{2ekv}/MWh för näringsfattig torvmark respektive näringsrik torvmark.

Tabell 17. Intervallen för nettoeffekten för ej skogbevuxen torvmark i ett 100-årigt tidsperspektiv, kg CO_{2ekv}/MWh

Scenario	Näringsfattig		Näringsrik	
	Minvärde	Maxvärde	Minvärde	Maxvärde
<i>Återvätning</i>	-111,8	-82,9	-137,6	-125,5
<i>Beskogning</i>	-62,8	-60,8	-208,6	-162,9
<i>Torvutvinning – Återvätning utan biokol</i>	351,8	380,7	324,9	337,0
<i>Torvutvinning – Beskogning utan biokol</i>	323,9	356,8	187,9	240,4
<i>Torvutvinning med tillväxtåtgärder utan biokol</i>	130,5	159,4	78,0	90,1
<i>Torvutvinning – Återvätning</i>	239,1	268,0	212,2	224,3
<i>Torvutvinning – Beskogning</i>	211,2	244,1	75,2	127,6
<i>Beskogning med tillväxtåtgärder</i>	-300,1	-271,2	-352,5	-340,4
<i>Torvutvinning med tillväxtåtgärder</i>	17,8	46,7	-34,7	-22,6



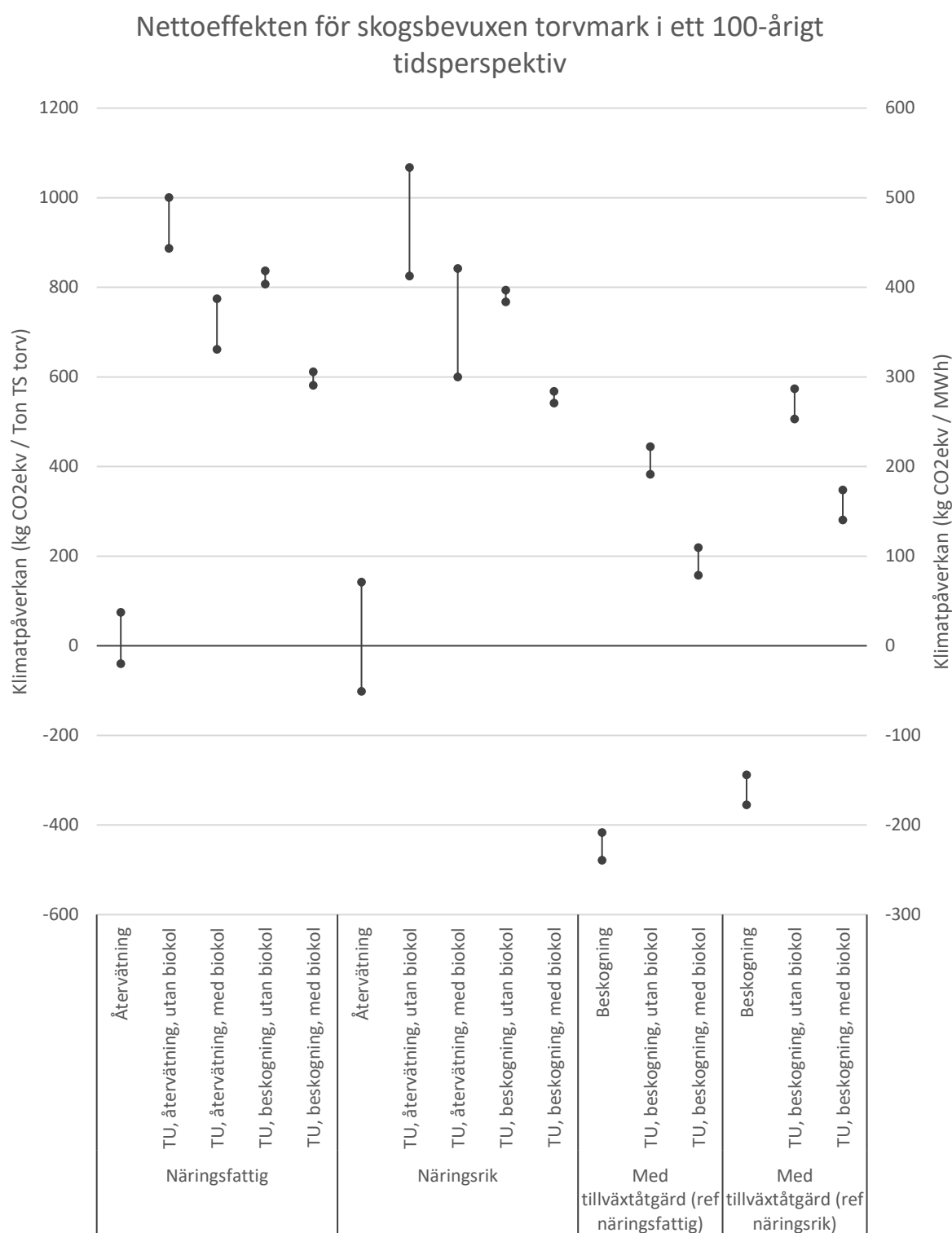
Figur 16. Nettoeffekten för dränerad torvmark där varje scenario jämförs med referensscenariot. Ett negativt värde minskar växthusgasutsläppen och ett positivt värde ökar växthusgasutsläppen. Max- och min-värdena är intervallet som uppstår beroende på dräneringstillståndet på torvmarken. TU står för torvutvinning. Scenariorna utan biokol är när biokol inte används i betong och scenariorna med biokol är när biokol används i betong. I återvätning så behandlas torvmarken till en våtmark och i beskogning så behandlas torvmarken med skog.

Om man behandlar skogbevuxna torvmarker med återvätning kan det bli en ökning eller minskning av växthusgasutsläpp (Figur 17). Det gäller på både näringsrik och näringsfattig torvmark. Torvutvinning ger inte en minskning utsläpp från växthusgasutsläpp för någon efterbehandling. För torvutvinning på näringsfattig torvmark så är torvens växthusgasutsläpp 330,6–387,1 kg CO_{2ekv}/MWh och 290,5–305,5 kg CO_{2ekv}/MWh vid efterbehandlingarna återvätning respektive beskogning. För torvutvinning på näringsrik torvmark så är torvens växthusgasutsläpp 299,8–420,8 kg CO_{2ekv}/MWh och 270,7–383,8 kg CO_{2ekv}/MWh vid efterbehandlingarna återvätning respektive beskogning (Tabell 18).

När man utför skogsåtgärder på torvmark så ökar substitutionseffekten och lagereffekten, vilket leder till ökad klimatnytta. Det leder till att nettoeffekten blir större jämfört med referensscenariot. Detta kommer leda till att torvutvinning med tillväxtåtgärder minskar växthusgasutsläppen men nettoeffekten är fortfarande positiv. Torvens växthusgasutsläpp vid tillväxtåtgärder är 78,6–109,5 kg CO_{2ekv}/MWh och 140,3–173,9 kg CO_{2ekv}/MWh för näringsfattig torvmark respektive näringsrik torvmark.

Tabell 18. Intervallen för nettoeffekten för skogbevuxen torvmark i ett 100-årigt tidsperspektiv. Biokol används för att ersätta grus och cement, kg CO_{2ekv}/MWh

Scenario	Näringsfattig		Näringsrik	
	Minvärde	Maxvärde	Minvärde	Maxvärde
<i>Återvätning</i>	-20,1	37,4	-50,9	71,1
<i>Torvutvinning – Återvätning utan biokol</i>	443,4	499,9	412,5	533,5
<i>Torvutvinning – Beskogning utan biokol</i>	403,2	418,3	383,4	396,5
<i>Torvutvinning med tillväxtåtgärder utan biokol</i>	191,3	222,2	253,0	286,6
<i>Torvutvinning – Återvätning</i>	330,6	387,1	299,8	420,8
<i>Torvutvinning – Beskogning</i>	290,5	305,5	270,7	283,8
<i>Beskogning med tillväxtåtgärder</i>	-239,2	-208,4	-177,6	-143,9
<i>Torvutvinning med tillväxtåtgärder</i>	78,6	109,5	140,3	173,9



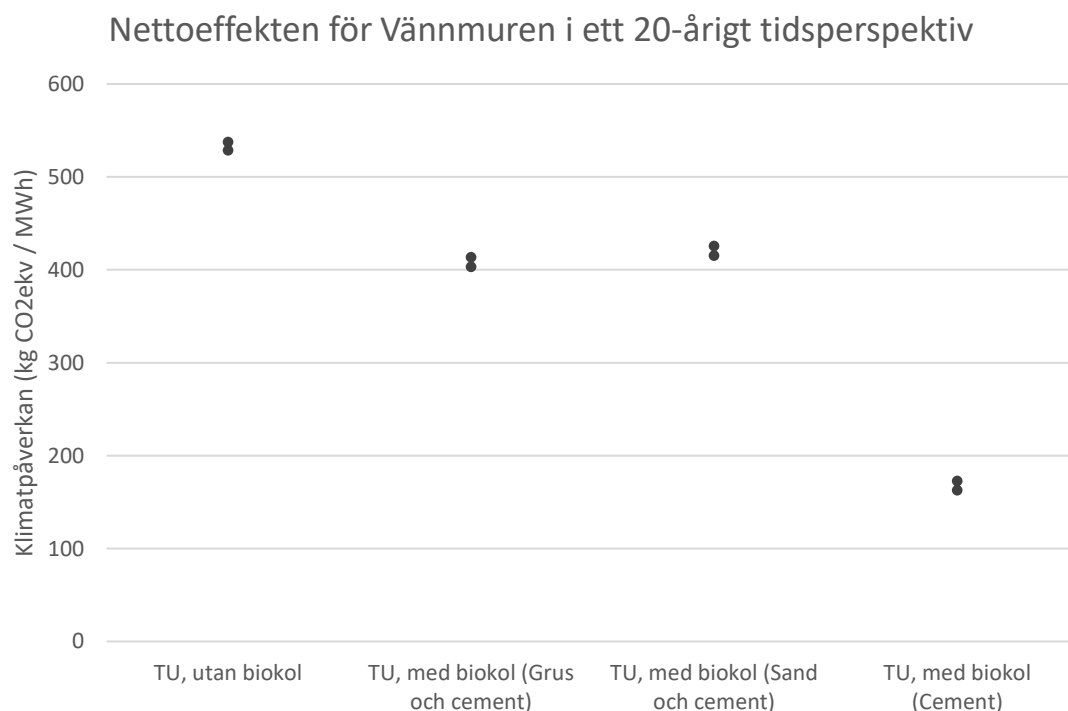
Figur 17. Nettoeffekten för dränerat torvmark där varje scenario jämförs med referensscenariot. Ett negativt värde minskar växthusgasutsläppen och ett positivt värde ökar växthusgasutsläppen. Max- och min-värdena är intervallet som uppstår beroende på dräneringstillståndet på torvmarken. TU står för torvutvinning. Scenariorna utan biokol är när biokol inte används i betong och scenariorna med biokol är när biokol används i betong. I återvätning så behandlas torvmarken till en våtmark och i beskogning så behandlas torvmarken med skog

4.5 Torvutvinning på Vännmuren

I ett 20 årigt perspektiv minskar inte Vännmurens utsläpp jämfört med referensscenariot. (Figur 18). Biokol ger olika klimatnytta och ger som störst när den ersätter cement. Torvens klimatpåverkan är 404,1–413,1 kg CO_{2ekv}/MWh, 416,1–425,1 kg CO_{2ekv}/MWh eller 163,4–172,4 kg CO_{2ekv}/MWh när biokol används för att ersätta grus och cement, sand och cement respektive cement (Tabell 19). Tabell 19 innehåller även resultat i enheten kg CO_{2ekv}/ton TS torv.

Tabell 19. Intervallen för nettoeffekten för Vännmuren i ett 20-årigt tidsperspektiv

Scenario	Vännmuren (kg CO _{2ekv} /MWh)		Vännmuren (kg CO _{2ekv} /ton TS torv)	
	Minvärde	Maxvärde	Minvärde	Maxvärde
Torvutvinning - Utan biokol	528,5	537,5	958,3	974,6
Torvutvinning - Grus och cement	404,1	413,1	732,7	749,0
Torvutvinning – Sand och cement	416,1	425,1	754,6	770,9
Torvutvinning – Cement	163,4	172,4	296,4	312,7

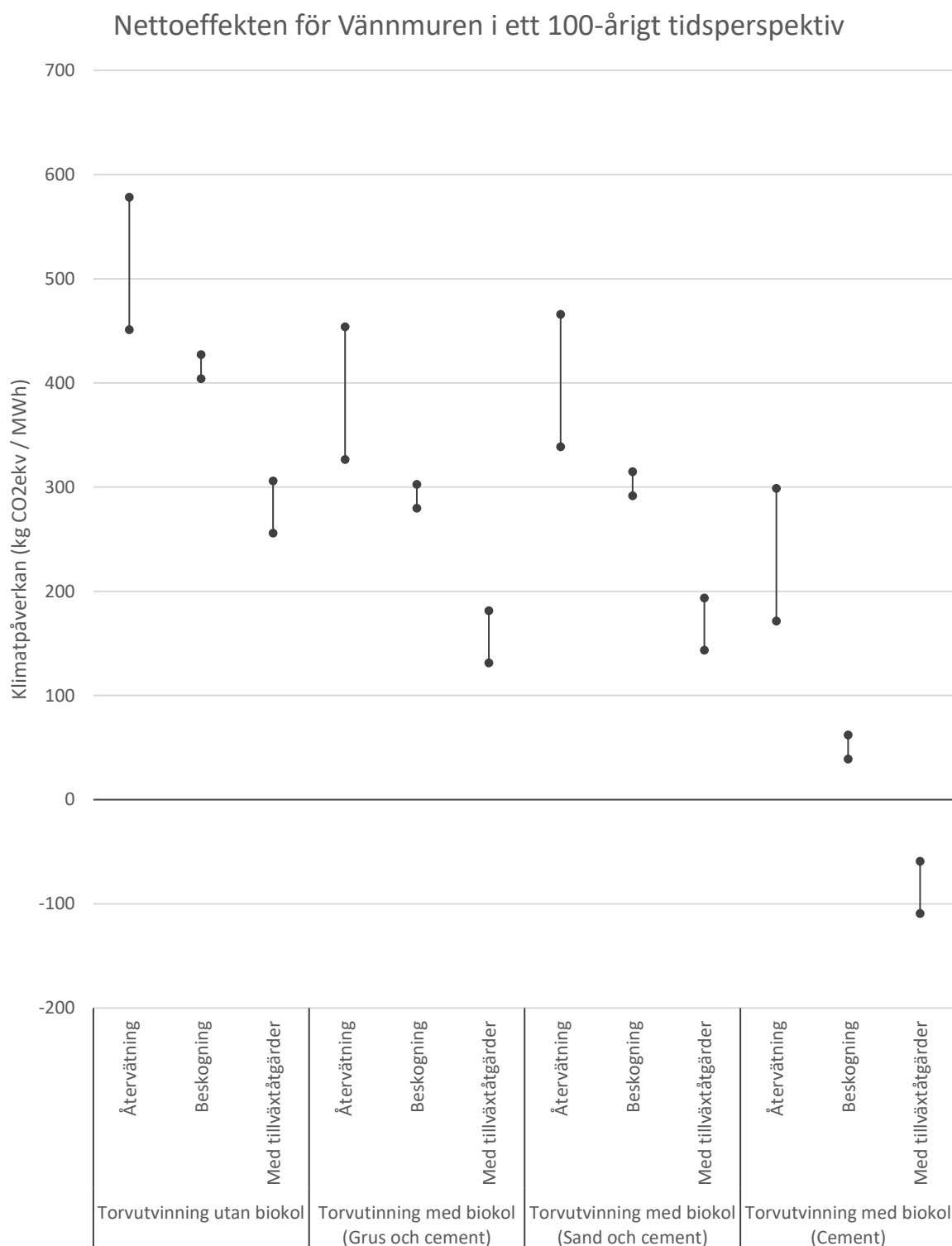


Figur 18. Nettoeffekten för Vännmuren där torvutvinning, TU, har jämförts med näringsrik referensscenariot. Max- och min-värdena är intervallet som uppstår beroende på dräneringstillståndet på torvmarken. Ingen efterbehandling hinner ses i ett 20 årigt tidsperspektiv. I scenarierna med biokol användes biokol för att ersätta grus och cement, sand och cement eller cement.

I ett 100-årigt tidsperspektiv minskar Vännmurens utsläpp jämfört med referenssceneriet i ett scenarie. Det är när biokol används för att ersätta cement och torvmarken med tillväxtåtgärder (Figur 19). Torven minskar klimatpåverkan med -109,3-(-59,2) kg CO_{2ekv}/MWh (Tabell 20). Resterande av scenarierna minskar inte klimatpåverkan av torvutvinning. Tabell 20 innehåller resultat för båda funktionella enheterna.

Tabell 20. Intervallen för nettoeffekten för Vännmuren i ett 100-årigt tidsperspektiv.

Scenario	Sand och cement		Grus och cement		Cement		Enhet
	Minvärde	Maxvärde	Minvärde	Maxvärde	Minvärde	Maxvärde	
<i>Torvutvinning – Återvätning utan biokol</i>	451,0	578,2	451,0	578,2	451,0	578,2	kg CO _{2ekv} /MWh
<i>Torvutvinning - Beskogning, utan biokol</i>	404,1	427,1	404,1	427,1	404,1	427,1	kg CO _{2ekv} /MWh
<i>Torvutvinning –Med tillväxtåtgärder utan biokol</i>	255,8	305,8	255,8	305,8	255,8	305,8	kg CO _{2ekv} /MWh
<i>Torvutvinning – Återvätning</i>	338,6	465,8	326,6	453,8	85,9	213,1	kg CO _{2ekv} /MWh
<i>Torvutvinning – Beskogning</i>	291,7	314,7	279,7	302,7	39,0	62,0	kg CO _{2ekv} /MWh
<i>Torvutvinning – Med tillväxtåtgärder</i>	143,4	193,4	131,4	181,4	-109,3	-59,2	kg CO _{2ekv} /MWh
<i>Torvutvinning – Återvätning utan biokol</i>	817,8	1048,4	817,8	1048,4	817,8	1048,4	kg CO _{2ekv} /ton TS torv
<i>Torvutvinning - Beskogning, utan biokol</i>	732,6	774,4	732,6	774,4	732,6	774,4	kg CO _{2ekv} /ton TS torv
<i>Torvutvinning – Med tillväxtåtgärder utan biokol</i>	463,7	554,5	463,7	554,5	463,7	554,5	kg CO _{2ekv} /ton TS torv
<i>Torvutvinning – Återvätning</i>	614,1	844,7	592,2	822,8	155,9	386,5	kg CO _{2ekv} /ton TS torv
<i>Torvutvinning – Beskogning</i>	528,9	570,6	507,0	548,8	70,7	112,5	kg CO _{2ekv} /ton TS torv
<i>Torvutvinning – Med tillväxtåtgärder</i>	260,0	350,8	238,1	328,9	-198,2	-107,4	kg CO _{2ekv} /ton TS torv



Figur 19. Nettoeffekten för Vännmuren där torvutvinning, TU, har jämförts med näringsrik referensscenariot. Ett negativt värde minskar växthusgasutsläppen och ett positivt värde ökar växthusgasutsläppen. Max- och min-värdena är intervallet som uppstår beroende på dräneringstillståndet på torvmarken. I återvätning så efterbehandlas torvtäkten till en våtmark och i beskogning så behandlas torvmarken med skog. Med tillväxtåtgärder är när beskogas och utför tillväxtåtgärder för att gynna skogstillväxt.

4.6 Känslighetsanalys

De parametrarna som var känsligast är kolutbytet till biokol, biokol utbytet och energibalansen (Tabell 21). Kolutbytet till biokol är hur mycket kol som hamnar i biokolet och blir således direkt kopplad med utsläppen som sker av pyrolysanläggningen. Biokolutbytet ger mer mängd biokol som gör klimatnytta när den används till betongen. En ökning av energibalansen leder till att referensenergin ökar och gör mer utsläpp. För att se den kompletta känslighetsanalysen med alla olika scenarier se bilaga 5.

Tabell 21. Medelvärde av känslighetsanalys utan scenarierna med tillväxtåtgärder.

<i>Parameter</i>	<i>Parameterns originalvärde</i>	<i>Ökning med 10 % GWP</i>	<i>Minskning med 10 % GWP</i>
<i>Kolutbyte till biokol</i>	50 %	-9,6 %	9,6 %
<i>Energibalans</i>	36 %	8,1 %	-8,1 %
<i>Energiinnehåll i torv</i>	21,5 MJ/kg TS	5,7 %	-5,7 %
<i>Biokolutbyte</i>	30 %	-2,4 %	2,4 %
<i>Torvmängd i torvtäkt</i>	1800 Ton TS Torv	-1,7 %	2,0 %
<i>Vattenhalt i styckestorv</i>	40 %	-0,8 %	0,7 %
<i>Arbetsmaskiner och lagring</i>	42,64 kg CO _{2ekv} /ton TS	0,4 %	-0,4 %
<i>Vattenhalt i biokol</i>	40 %	-0,2 %	0,2 %

5. Diskussion

Diskussionen är uppdelad i olika avsnitt. Först kommer en analysdel av resultatet där frågeställningarna besvaras, som följs av delfrågeställningarna besvaras. Sedan kommer en diskussion om känslighet, en generell diskussion och till sist rekommendationer.

5.1 Analys av resultat

Läckaget av växthusgaser från dikade torvtäckta marker kan minska genom torvutvinning och efterföljande behandling. Det blir stora variationer beroende på tidsperspektiv, vilken slags torvmark som undersökts och efterföljande efterbehandling. Alla torvmarker kan minska sina utsläpp i ett 100-årigt tidsperspektiv om rätt efterbehandlingsmetod och biokolet används för att ersätta endast cement istället för grus och cement. Ersätta cement medför att nettoeffektens klimatpåverkan blir negativ istället för positiv, med den ytterligare minskningen på 218,0 kg CO_{2ekv}/MWh från grus och cement (Tabell 17 & 18). På torvmark utan skog är nettoeffekten -34,7-(-22,6) kg CO_{2ekv}/MWh med grus och cement som ersätts.

Att pyrolysera styckestorv från Vännmuren kan leda till klimatnytta i ett 100-årigt tidsperspektiv. Det kan endast göras om torvtäkten har efterbehandlingsmetoden beskogning med tillväxtåtgärder och biokol används att ersätta cement. Nettoeffekten är -109,3-(-59,2) kg CO_{2ekv}/MWh.

5.1.1 Kan torvutvinning resultera i en klimatnytta?

Torvutvinning kan resultera i en klimatnytta i ett längre tidsperspektiv. Frågan har ett viss djup och kan ses på flera olika sätt. Exkluderad från torvutvinningen är arbetsmaskiner, transport och lagring.

Samtliga scenarier visar att efter torvutvinningen blir torvmarkens utsläpp mindre än referensscenariot, vilket är utfallet i alla scenarier. Då blir torvutvinning en klimatnytta. Om istället torvutvinning inkluderas i beräkningen med torvmarkens utsläpp kommer det inte resultera i en klimatnytta i alla scenarier i ett 100-årigt tidsperspektiv. I Naturvårdsverket (2016) anges att en efterbehandling på en torvtäkt kan i gynnsamma fall kompensera för täktens klimatpåverkan inom ett tidsspänn på 50–100 år. I resultaten från detta arbete tas ingen hänsyn till gynnsamma eller icke gynnsamma fall. De scenarier som inte minskar sina utsläpp är där marken beskogas efter torvutvinningen, vilket endast sker i några av beskogningsscenarierna. Den kvarvarande torven kommer att nedbrytas och släppa ut växthusgaser samtidigt som torven bevarar näringsämnen. Den minskning av torvmarkens utsläpp efter beskogning på färdigbrutna torvtäkter har antagits från Lundblad et al. (2016). Det är dock ett generellt antagande då ingen annan studie har hittats som har undersökt minskning av torvbeståndet efter torvtäkter. De tar heller inte närings- och dräneringsförhållanden i beaktning. Om torvmarken skulle gödslas finns en chans att nedbrytningen förändras också, ingen studie om detta har heller hittats. Således bygger detta antagande på viss osäkerhet, men torvutvinningen kommer leda till en

minskning av torvmarkens utsläpp. Om det inte sker inom ett 100-årigt tidsperspektiv så kommer det ske i ett längre tidsperspektiv. Resultatet i denna rapport kan därför påstås stämma väl överens med Naturvårdsverkets resultat.

Ingen hänsyn till skog binder in koldioxid har tagit med i denna frågeställning

5.1.2 Kan långsam pyrolys av dränerad torv resultera i en klimatnytta?

En långsam pyrolys av dränerad torv kan resultera i en klimatnytta. Det sker först genom att det blir ett minskat utsläpp per ton TS torv genom pyrolys, som leder till att efterbehandlingsmetoderna behöver samla in mindre koldioxid för att kompensera för torvens utsläpp. Detta gör att tiden för efterbehandlingen minskar jämfört med om all torv skulle ha förbränts. Tidsperspektivet blir således kortare för att totalt sett få en klimatnytta. Värt att notera är att förbränning och pyrolysning av torv har ungefärligt likartade utsläpp per MWh när man endast ser på anläggningens utsläpp. Förbränning har ett lite mindre utsläpp. Det beror på att pyrolysanläggningens process inte utvinner energi lika effektiv som vid förbränning. Det andra som ger klimatnytta är det producerade biokolet, som har möjlighet att tränga bort andra material med större klimatpåverkan och leder till minskat utsläpp. Utöver det kommer biokolet med sina egenskaper leda till att produkten i sig förändras, som i tur leder till fler fördelar. Fördelar som till exempel bättre isolerad betong, bättre ljuddämpning och hälsofördelar.

De faktorer som i störst utsträckning påverkade nettoeffektens resultat var tidsperspektivet och sen om referensscenariot var skogbevuxen eller ej. Näringsstatus och efterbehandlingsmetod påverkar och kommer analyseras mer ingående i kapitel 5.1.3 respektive 5.1.4.

I ett kortare tidsperspektiv kan pyrolys inte resultera i en klimatnytta jämfört med referensscenariot. I ett längre tidsperspektiv så har det möjlighet att kunna göra det i några scenarier. Det generella är att klimatnytta kan ske om marken beskogas med införande med tillväxtåtgärder för att gynna skogstillväxt. Skogens lagrande effekt med hög tillväxt kombinerat med substitutionseffekten av avverkad biomassa ger stora potentialer till ett minskande av växthusgasutsläpp. Detta tillsammans med biokolets klimatnytta att ersätta mindre mängder cement (0,1 % av betongsvikt) ger en klimatnytta i ett 100-årigt tidsperspektiv. Den största klimatnyttan sker när torv utvinns på torvmarker utan skog.

Torvutvinning kan även jämföras med behandling av torvmarker med återvätning och beskogning. Återväta torvmarker till våtmark ger större klimatnytta än torvutvinning med pyrolysning. Det samma gäller för beskogning. Beskogning ger en klimatnytta inom tidsperspektivet. Det är för att skogens insamling är större än utsläppskillnaden från torvmarken mellan referensscenariot och beskogning. Vid beskogning kommer torvmarken fortsätta ha ett konstant utsläpp av växthusgaser medan växthusgaserna minskar i referensscenariot. För torvutvinning kommer torvmarkens utsläpp istället att minska, som troligtvis skulle ge större klimatnytta om ett längre tidsperspektiv skulle undersökas.

Det kommer vara enklare för skog på efterbehandlade torvtäcker att utgöra en minskade av växthusgasutsläpp efter tidsperspektivet. Det är för substitutionseffekten inte behöver kompensera för torvmarkens utsläpp. Den lagrade effekten uppstår endast om skogen har en tillväxt jämfört med referensscenariot eller har andra användningsområden som leder till längre medeltidslängd av biomassan.

För skogbevuxna torvmarker är det osäkert om en klimatnytta kommer ske vid återvätning, då det är stora variationer i växthusgasutsläpp beroende på dräneringen. Det blir i alla fall mer klimatnytta än torvutvinning.

5.1.3 Påverkar torvmarkens egenskaper effekten på klimatnyttan?

Torvmarkens egenskaper påverkar klimatnyttan. Styrkan av dränering kan leda till stora variationer tillsammans med näringstillståndet. På torvmark utan skog gynnar näringsrik torvmark tillväxten vid beskogning, och leder till ökad insamling av koldioxid. Näringen kommer även leda till efterbehandlingsmetoderna påverkas och därmed också tillväxten av skogen. De ursprungliga förhållandena på torvmarken kan förändras och bidra till att exempelvis en näringsfattig torvmark blir näringsrik. Torvdjupet kan varit flera meter och leder till att mer näring rinner via vattnet till en avslutad torvtäkt.

5.1.4 Påverkas klimatnyttan med val av efterbehandlingsmetod?

Efterbehandlingsmetod är essentiell för att bidra med en klimatnytta efter torvtäktens avslutade. Den största klimatnyttan får via beskogning med tillväxtåtgärder. Återvätning har en alldeles för långsam insamling av koldioxid för göra en minskad klimatpåverkan. Med återvätning till vårmare kommer klimatmålet ”Myllrande våtmarker” uppfyllas och även gynna biodiversitet.

5.2 Osäkerheter och känslighet

En av de stora osäkerheterna i denna studie är betong med biokol. Ingen annan studie har kunnat hittas än där biokol substituerade 30 % cement (Bianco, et al., 2017), vilket medför alldeles för mycket biokol inblandat för en fungerande betong (Cuthbertson, 2018). Antagande för densiteten för betong är osäkerhet med då det inte fanns data för biokol från torv. Råmaterial är något som påverkar pyrolyseringen och biokolets egenskaper så användning av biokol från torv som indata skulle minska osäkerheten. Sen om fler studier hade undersökt blandning av betong, både fyllnadsmaterial och lite cement substitueras samt vad som exakt ersätts volymmässigt. Adsorbering av torvs biokol är även det en osäkerhet då ingen exakt data fanns för biokol från torv.

Det blir en stor osäkerhet när ett långt tidsperspektiv undersöks. Det kan exempelvis bli att efterbehandlingen inte får den tillväxt som har antagits, frostsador eller att det sker en skogsbrand. En konsekvensanalys medför även att förändring kan vara annorlunda än vad som antas. Referensenergin och marginalmixen är något som inte är konstant utan

beror på det faktiska bränslet som förbränns. Tillgången på bränsle och utetemperatur kan ändra fördelningen på bränslena och medföra annat utsläpp.

I fallet av vattenhalten i styckestorven så är det inte sammanfogad med energibalansen och torkning. Det kan vara förklaring till dess låga påverkan men lär inte göra en alltför större skillnad jämfört med de stora känsligheterna.

5.3 Generell diskussion

Torv och dess förbränning är en just nu en väldigt omdiskuterad fråga. I vissa fall så jämförs torv med fossila bränslen då förbränning släpper ut höga halter koldioxid, som är jämförbara med kol. Till skillnad mot fossila bränslen kan torvtäcker efterbehandlas med beskogning eller återvätning. Detta innebär färdigbrutna torvtäcker kan börja binda in koldioxid från atmosfären efter ca 20 år. Utöver det så utvinns 25 % av tillväxten av torv. Detta har lett till torv ibland kallas långsamt förnyelsebar då det sker en nationell tillväxt. Det kan jämföras med förnyelsebara skogen. Sveriges totala tillväxt på produktiva skogsmarker är ca 120 miljoner m³sk per år och avverkas ca. 85 miljoner m³sk (Skog Sverige, u.d.). Det betyder att det utvinns ca 70 % av tillväxten. Det är då en stor skillnad i omloppstid mellan dessa två bränslen. Men torven har jämfört med de fossila bränslena en snabb tillväxt.

Det finns flera klimatfördelar med pyrolysning av dränerad torv. Torvmarkens utsläpp minskar i ett 100-årigt tidsperspektiv. Det blir en utvinning av energi från en svensk naturresurs och en produktion av biokol som kan leda till minskad klimatpåverkan.

Pyrolysning av torv från Vännmuren bidrar med klimatnytta när torvtäcken efterbehandlas med beskogning med tillväxtåtgärder, biokol substituerar cement och ser i ett längre tidsperspektiv. Med ett negativt utsläpp kommer torvutvinningen bidra till att växthuseffekten minskar, vilket är målet i parisavtalet och för Stockholm Exergi klimatneutralt bränsle. Det som problematiserar det hela blir tidsperspektivet. När en omloppstid för en skog används så blir det mer rättvist bild för en skog på vanlig mark. För en torvmark som torvutvinns så skulle ett längre perspektiv föredras. Då referensscenariot fortfarande kommer ha torvmarkutsläpp. Men torvmarkens utsläpp minskar i det längre perspektivet med efterbehandling beskogning, då mindre torv finns kvar för att nedbrytas. För efterbehandling med återvätning kommer ha nått ett mer stabilt läge mellan nedbrytning och tillväxt. Tidsperspektivet blir en övervägande faktorn för de olika scenariernas klimatnytta. Inom tidsperspektiven har inte betongens avfallshantering och biokolets inverkan där undersökts. Det är något som är inom ett helt nytt forskningsområde och finns inga studier inom detta.

Stockholms fjärrvärme har små utsläpp i jämförelse om pyrolysanläggningen skulle planeras i en annan stad, exempelvis Tyskland. Referensenergin skulle då medföra högre utsläpp och lett till mindre skillnad i utsläpp, som bidrar till nettoeffekten ökar. I denna studie var värmepumpar och direktvärme den bidragande faktorn till marginella

bränslemixen var hög. Värmepumpar är väldigt effektiva men den bränsle som konkurreras ut är fossilt som producerats till el, som då bidrar till en ökad marginalet.

Det som borde ske på dränerade torvmarker är att skapa ett helhetsperspektiv. Då det är nationellt stora arealer som är mänskligt påverkade. Att ha ett landskapsperspektiv som för skog kanske skulle vara rätt väg att gå. Då det skulle innebära att utsläppen från torvutvinning på dränerad torvmark samtidigt kan upptas från dränerade torvmarker som behandlas med återvätning till våtmark. Det skulle kunna ge incitament att minska Sveriges stora utsläpp från dränerade torvmarker som är skapade från mänsklig handling. Incitamentet skulle även stämma överens med Parisavtalet artikel 5, att vidta åtgärder för att bevara kolsänkor samt om möjlighet förstärka och förbättra kolsänkor.

Betong med biokol gjorde att betongen behöll sin styrka samtidigt gav bättre egenskaper med isolering och ljuddämpning. Det grundar sig i att torv kommer fungera på samma principer som andra biokol som undersöktes. Vilket är en väldig förenkling då biokol förändrats mycket beroende på process, råmaterial och temperaturer. För att säkerställa betong med biokol från torv har samma fördelar så bör det undersökas med djupgående. Speciellt att biokol från torv kan substituera cement i små mängder. Fukthalt och dess påverkan på betong behöver även det undersökas för att säkerställa klimatnyttan.

Förbättringen av isolering kan leda till ytterligare klimatnytta för biokol, då det medför till energieffektivisering till byggnader (Cuthbertson, 2018) samt kan leda till att mindre användning av isoleringsmaterial. Detta kan leda till att byggnadens totala klimatpåverkan minskar. Det är inget som har undersöks i denna rapport. En mindre användning på 1 % skulle kunna påverka större volymer betong än 2 % inblandning, där större volymen leder till större klimatminskning. Värmeledningsförmågan med biokol i betong och eventuell minskning i isoleringsmaterial bör undersökas mer grundläggande för att precisera den adderade klimatnytta som biokol kan ha. Olika slags råmaterial bör inkluderas i undersökning. Det bör undersökas med avseende på olika biokol och mer exakta inblandningar.

Torv kan även utvinnas på torvmarker som brukas för jordbruk. Det skulle potentiellt kunna leda till minskad klimatpåverkan då dessa torvmarker släpper ut mycket växthusgaser. En sådan studie behöver ta hänsyn till matproduktion och indirekt förändrad markanvändning, ILUC.

5.4 Rekommendationer

För att undersöka om en klimatnytta sker för andra tillämpningsområden än betong är det enklast att använda funktionella enheten ton TS torv. Där man antar 0,3 ton TS biokol produceras från 1 ton TS torv i pyrolyseringen. Den klimatnyttan som fås kan subtraheras från scenarierna utan biokol. Att konvertera mellan funktionella enheterna används 1,81 MWh/ton TS torv eller 2,00 MWh/ton TS torv för Vännmuren respektive generella fallen.

För att minska växthusgasutsläppen från Sveriges dränerade torvmarker kan torvmark utan skog behandlas via återvätning för att skapa våtmarker. Skogbevuxen torvmark kan behandlas med tillväxtåtgärder som gödsling, dikning och gallring för att gynna skogstillväxt.

6. Slutsats

Ett minskat utsläpp av växthusgaser kan ske när dränerad torv pyrolyseras och biokol produceras. Att kunna få en klimatnytta och hur stor utsläppen minskar beror på flera olika faktorer, dessa är tidsperspektiv, torvmarkens näringsstatus, om torvmarken är skogbevuxen eller ej, dräneringstillstånd, efterbehandlingsmetod och hur biokolet inblandas i betongen.

- Pyrolysning av dränerad torv kan leda till klimatnytta och minska den globala uppvärmningen i ett 100-årigt tidsperspektiv. Det sker när biokol adsorberar koldioxid från förbränningsgas och ersätter cement i betong i mindre mängder, 0,1 % av betongens vikt.
- Pyrolysning av torv från näringsrik torvmark utan skog kan göra en klimatnytta i ett 100-årigt tidsperspektiv vid efterbehandling beskogning med tillväxtåtgärder, där biokol adsorberar koldioxid och sedan ersätter grus och cement i betong. Det ger en klimatnytta på -34,7-(-22,6) kg CO_{2ekv}/MWh.
- Pyrolysning av styckestorv från Vännmuren kan ge klimatnytta i ett 100-årigt tidsperspektiv om torvtäkten beskogas med tillväxtåtgärder och biokol adsorberar koldioxid och sedan ersätter cement i mindre mängder. Klimatnyttan är -109,3-(-59,2) kg CO_{2ekv}/MWh.
- Att återställa dränerade torvmarker utan skog till våtmarker ger en klimatnytta och samtidigt bidrar till klimatmålet Myllrande våtmarker. Klimatnyttan är -111,8-(-82,9) kg CO_{2ekv}/MWh och -137,6-(-125,5) kg CO_{2ekv}/MWh för näringsfattig respektive näringsrik torvmark.
- Att efterbehandla med beskogning med tillväxtåtgärder bidrar med störst klimatnytta.
- Den producerade biokolet ger adderad klimatnytta genom att tränga bort andra material i betong som har större miljöpåverkan samt att adsorbera CO₂ från förbränningsgas. Totala klimatnyttan för biokolet är -661,9 kg CO_{2ekv}/ton TS torv, -225,6 kg CO_{2ekv}/ton TS torv och -203,7 kg CO_{2ekv}/ton TS torv när biokol substituerar cement, grus och cement respektive sand och cement.
- Biokolet har större potential att göra klimatnytta i betong med mindre inblandning av fyllnadsmaterial som grus och sand, ner till 1 % av betongens vikt.

7. Litteraturförteckning

2050 Fast forward to a Greener Future, 2016. *Potential GHG emissions reductions with biochar*: Ej publicerad data.

Akthar, A. & Sarmah, A. K., 2018. Novel biochar-concrete composites: Manufacturing, characterization and evaluation of the mechanical properties. *Science of Total Environment*, Volym 616-617, pp. 408-416.

Andersson, G. & Frisk, M., 2013. *Skogsbrukets transporter 2010*, Uppsala: Skogsforsk.

Anerud, E., 2018. SLU. Personlig information. (07 05 2018).

Bauman, H. & Tillman, A.-M., 2004. *The Hitch Hiker's Guide to the LCA: An orientation in life cycle assessment methodology and application*. Lund: Studentlitteratur AB.

Bianco, I. o.a., 2017. *Evaluation of the environmental benefits of biochar addition into concrete-based composites*: Engineering Conferences International.

Bodén, N., 2018. Neova. Personlig kommunikation. (16 05 2018).

Borg Dunge, F., Neova. Personlig kommunikation. (01 03 2018).

Cederberg, C., Landquist, B. & Berglund, M., 2012. *Potentialer för jordbruket som kolsänka*: Sik.

Chio, W. C., Yun, H. D. & Lee, J. Y., 2012. Mechanical Properties of Mortar Containing Bio-Char from Pyrolysis. *Korea institute for structural maintenance and inspection*, 16(3), pp. 67-74.

Cuthbertson, D. M., 2018. *The Production of Pyrolytic Biochar for Addition in Value-Added Composite Material*: The University of Western Ontario.

Dahlén, E., 2018. Stockholm Exergi. Personlig kommunikation. (20 02 2018)

De Jong, J. o.a., 2015. *Förvaltning av torvtäckt skogsmark med avseende på klimat och naturvärden*.

Egnell, G. & Skogsstyrelsen, 2013. *Skogsskötselserien - Skogsbränsle*: Skogsstyrelsen.

Energimyndigheten, 2010. *Uppdrag om underlag avseende torvanvändning och växthusgasbalanser*: Statens energimyndighet.

Energimyndigheten, 2017a. *Energiläget 2017*, u.o.: Energimyndigheten.

Energimyndigheten, 2017b. *Värmevärden och emissionsfaktorer*. [Online]
Available at: <http://www.energimyndigheten.se/statistik/branslen/varmevarden-och-emissionsfaktorer1/>
[Använd 13 03 2018].

Ericsson, N., 2015. *Time-dependent climate impact of short rotation coppice willow-based systems of electricity and heat production*, Uppsala: SLU.

- Fahlvik, N., Johansson, U. & Nilsson, U., 2009. *Skogsskötsel för ökad tillväxt*: SLU.
- Förenta Nationerna, 2015. *Paris agreement*.
- GBR, 1999. *Energiåtgång och miljöpåverkan vid transporter*. [Online]
Available at: <https://www.altro.com/getmedia/0ad374a2-00f7-4041-a245-2272b17fe385/Bil-8-transporter.pdf.aspx>
[Använd 19 05 2018].
- Hansen, K. o.a., 2016. *Torvutvinningens miljöpåverkan*: IVL.
- Hånell, B., 2004. *Arealer för skogsgödsling med träaska och torvaska på organogena jordar*, Stockholm: Värmeforsk Service AB.
- Hånell, B. o.a., 2006. *Växthuseffekt och skogsproduktion: Hur ska vi hantera våra dikade skogsmarker?*, Uppsala: SLU.
- Hånell, B., Svensson, J. & Magnusson, T., 1996. *Efterbehandling av torvtäkter - En litteraturstudie med tonvikt på beskogning*: SLU.
- Ibarrola, R., Shackley, S. & Hammond, J., 2012. Pyrolysis biochar systems for recovering biodegradable materials: A life cycle carbon assessment. *Waste Management*, May, 32(5), pp. 859-868.
- IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the*, Geneva, Switzerland: IPCC.
- ISO 14040, 2006. *Miljöledning - Livscykelanalys - Principer och struktur*: Swedish Standards Institute.
- ISO 14044, 2006. *Miljöledning - Livscykelanalys - Krav och vägledning*: Swedish Standards Institute.
- IVL, 2017. *Miljövärdering av energilösningar i byggnader (etapp 2): Metod för konsekvensanalys*: IVL.
- Jordan, S., 2016. *Greenhouse Gas Emissions from Rewetted Extracted Peatlands in Sweden*, Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Karlsson, E., 2016. *Miljöpåverkan från fjärrvärme: Emissionsfaktorers användning vid effektbesparingar*, Uppsala: Uppsala Universitet.
- Lindgren, A. & Lundblad, M., 2014. *Towards new reporting of drained organic soils under the UNFCCC - assessment of emission factors and areas in Sweden*, Uppsala: SLU.
- Ljunggren, M., 2018. Cowi. Personlig kommunikation. (16 05 2018).
- Lundblad, M., Stendahl, J., Lundin, L. & Olsson, M., 2016. *Den svenska torvutvinningens klimatpåverkan*, Uppsala: SLU.

Lundmark, T. o.a., 2014. Potential roles of Swedish Forestry in the Context of Climate Change Mitigation. *Forests*, 5(4), pp. 557-578.

Madzaki, H., KarimGhani, W. A. W. A., Rebitanim, N. Z. & Alias, A. B., 2016. Carbon Dioxide Adsorption on Sawdust Biochar. *Procedia Engineering*, Volym 148, pp. 718-725.

Ma, F., Sha, A., Yang, P. & Huang, Y., 2016. The Greenhouse Gas Emission from Portland Cement Concrete Pavement Construction in China. *Environmental Research and Public Health*, 13(7), p. 632.

Magnusson, T. & Hånell, B., 2000. *Aska för beskogning av torvtäkter*, Eskilstuna: Energimyndigheten.

Myhre, G. o.a., 2013. *Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press.

Naturvårdsverket, 2013. *2050 Ett koldioxidneutralt Sverige*.

Naturvårdsverket, 2016. *Torvutvinnignens och torvanvändningens klimat- och miljöpåverkan*: Naturvårdsverket.

Naturvårdsverket, 2018. *Beräkna dina klimatutsläpp*. [Online]
Available at: <https://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledningar/Luft-och-klimat/Berakna-dina-klimatutslapp/>
[Använd 19 05 2018].

Neova, u.d.-a. *Stycketorv*. [Online]
Available at: <http://www.neova.se/stycketorv>
[Använd 20 05 2018].

Neova, u.d.-b. *Torvproduktion i Sverige - information från Neova AB, Sveriges största torvproducent*.

Palm, D., 2015. *PM, CO₂-utsläpp*, Göteborg: Ramböll.

Perttu, Kurth. & Morén A.-S. 1995. *Regionala klimatindex – verktyg vid bestämning av skogsproduktion*. Fakta skog, nr 13.

Peters, J. F., Iribarren, D. & Dufour, J., 2015. Biomass Pyrolysis for Biochar or Energy Applications? A Life Cycle Assessment. *Environmental Science & Technology*, 49(8), pp. 5195-5202.

Proposition 2016/17:146. *Ett klimatpolitisk ramverk för Sverige*: Regeringen.

Rensmann, M., 2018. Pyreg. Personlig kommunikation. (03 04 2018).

Roberts, K. G. o.a., 2010. Life Cycle Assessment of Biochar Systems: Estimating the Energetic, Economic, and Climate Change Potential. *Environmental Science Technology*, 44(2), pp. 827-833.

Råsjö Torv AB, 2004. *Ansökan om bearbetningskoncession för Vännmuren, Sandvikens kommun, Gävleborg. Miljökonsekvensbeskrivning*, Hedesunda: UVAT AB.

Sandberg, M., 2018. Stockholm Exergi. Personlig kommunikation. (04 06 2018).

SCB, 2001. *Torv 2000. Tillgångar, användning miljöeffekter*, u.o.: Statistiska Centralbyrån.

Schmidt, H.-P., 2012. 55 Uses of Biochar. *Ithaka Journal*, Issue 1, pp. 286-289.

Schoning, K., 2015. *Förändringar i torvegenskaper, markanvändning och vegetation hos södra och mellersta Sveriges torvmarker*, u.o.: SGU.

Skog Sverige, u.d. *Fakta om skog*. [Online]
Available at: <https://www.skogssverige.se/skog/fakta-om-skog>
[Använd 01 06 2018].

Skogforsk, u.d. *Ingvar - beslutsstöd för gallring och röjning*. [Online]
Available at: <https://www.skogforsk.se/produkter-och-evenemang/verktyg/ingvar/>
[Använd 20 05 2018].

Skogs Sverige, u.d. *Lämpliga bestånd att gödsla - baskrav*. [Online]
Available at: <https://www.skogssverige.se/skog/for-skogsagaren/skogsgodsling/lampliga-bestand-att-godsla-baskrav>
[Använd 18 05 2018].

SLU, 2018a. *Skogsdata 2018*, Umeå: SLU.

SLU, 2018b. *Vad är livscykelanalys?*. [Online]
Available at: <https://www.slu.se/institutioner/energi-teknik/forskning/lca/vadar/>
[Använd 11 05 2018].

SMHI, 2015. *SMHI*. [Online]
Available at: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/vaxthuseffekten-1.3844>
[Använd 07 02 2018].

Stockholm Exergi, 2018. *Års- och hållbarhetsredovisning 2017*, Stockholm: Stockholm Exergi.

Stockholm Exergi, u.d. *Fakta om Stockholm Exergi*. [Online]
Available at: <https://www.stockholmexergi.se/om-stockholm-exergi/varma-fakta-om-stockholm-exergi/>
[Använd 01 06 2018].

Strömberg, B. & Herstad Svärd, S., 2012. *Bränslehandboken 2012*. 3 red. Stockholm: Värmeforsk serviceaktiebolag.

Sundén, N., 2018. Stockholm Exergi. Personlig kommunikation. (09 05 2018).

Svensk Torv, u.d. *Basfakta*. [Online]
Available at: <http://www.svensktorv.se/basfakta.htm>
[Använd 04 06 2018].

Tellus, 2011. *Uppvärmningens orsaker*. [Online]
Available at:
https://tellus.science.gu.se/fokus_arktis/globala_uppvarmningen/uppvarmningens_orsaker
[Använd 12 02 2018].

Tripathi, M., Sahu, J. & Ganesan, P., 2016. Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, Volym 55, pp. 467-481.

Vattenfall, 1997. *Torvbränsle och växthuseffekten*, u.o.: Vattenfall Utveckling AB.

Värmemarknadskommittén, 2016. *Överenskommelse i värmemarknadskommittén 2016; Om synen på bokförda miljövärden för fastigheter uppvärmda med fjärrvärme med värden för 2016.*, u.o.: Energiföretagen.

Yara, u.d. *Skog och näring*. [Online]
Available at: http://www.yara.se/vaxtnaring/grodor/ovriga-grodor/skog/skog_och_naring/
[Använd 21 05 2018].

Bilaga 1 Marginalel

Värdena från detta kommer från (IVL, 2017) och har antagit att 50 % kommer användas under vintern och resterande 50 % under hösten och vår. Dag antas vara 16 timmar och natt antas vara 8 timmar.

Tabell 1. Marginalel.

		<i>kg CO_{2ekv}</i> <i>/MWh</i>	<i>Timmar</i>	<i>Andel av</i> <i>totalen</i>	<i>kg CO_{2ekv}/MWh för</i> <i>marginalel</i>
<i>Vinter</i>	Dag	992	16	33 %	330,67
<i>Vinter</i>	Natt	867	8	16 %	144,5
<i>Höst/vår</i>	Dag	914	16	33 %	304,67
<i>Höst/vår</i>	Natt	646	8	16 %	107,67
<i>Totalt</i>				<i>100 %</i>	<i>887,5</i>

För att beräkna ut det till en värmepumps utsläpp så divideras den totala marginaelen med COP faktorn, vilket blir 277,34 kg CO_{2ekv}/MWh.

Bilaga 2. Årlig tillväxt på dikad och odikad torvmark som är produktiv skogsmark.

Från (Fahlvik, et al., 2009) i Björn Hånell's bilaga 4.

Bilaga 1. Årlig tillväxt, $m^3 sk ha^{-1}$, på dikad och odikad torvmark som är produktiv skogsmark. Baserat på uppgifter från Riksskogstaxeringen 2003-07.

		Högört	Lågört	Blåbär	Högstarr	Bättre ris	Lågstarr	Sämre ris
Norra Norrland	Odikat	2,2	2,7	3,0	2,5	2,6	1,9	1,4
	Dikat	2,7	4,1	4,5	8,4	4,6	2,2	2,3
	Totalt	2,3	3,5	3,5	4,1	3,6	2,0	1,7
Södra Norrland	Odikat	4,0	4,0	3,3	2,0	3,2	1,9	1,5
	Dikat	4,7	4,6	4,8	4,8	4,3	2,2	2,3
	Totalt	4,4	4,2	3,7	3,1	3,6	2,0	1,6
Svealand	Odikat	6,0	5,0	4,2	3,2	2,4	2,5	1,4
	Dikat	7,2	6,5	4,9	2,7	4,5	1,3	1,6
	Totalt	6,8	5,6	4,5	3,1	2,8	2,2	1,5
Götaland	Odikat	9,2	6,2	5,7	3,0	4,0	3,3	1,7
	Dikat	4,9	7,8	6,0	3,1	3,7	2,9	1,5
	Totalt	6,3	7,1	5,8	3,1	4,0	3,3	1,5
Hela Landet	Odikat	4,9	4,9	4,2	3,0	3,0	2,6	1,5
	Dikat	5,5	6,4	5,2	3,1	4,4	2,3	1,8
	Totalt	5,2	5,6	4,5	2,9	3,5	2,6	1,6

Bilaga 3. Data till ståndortsindex och gallringsprogrammet INGVAR

Data som har använts kommer från (Anerud, 2018). I tabell 2 så är det inom parantes som har antagits.

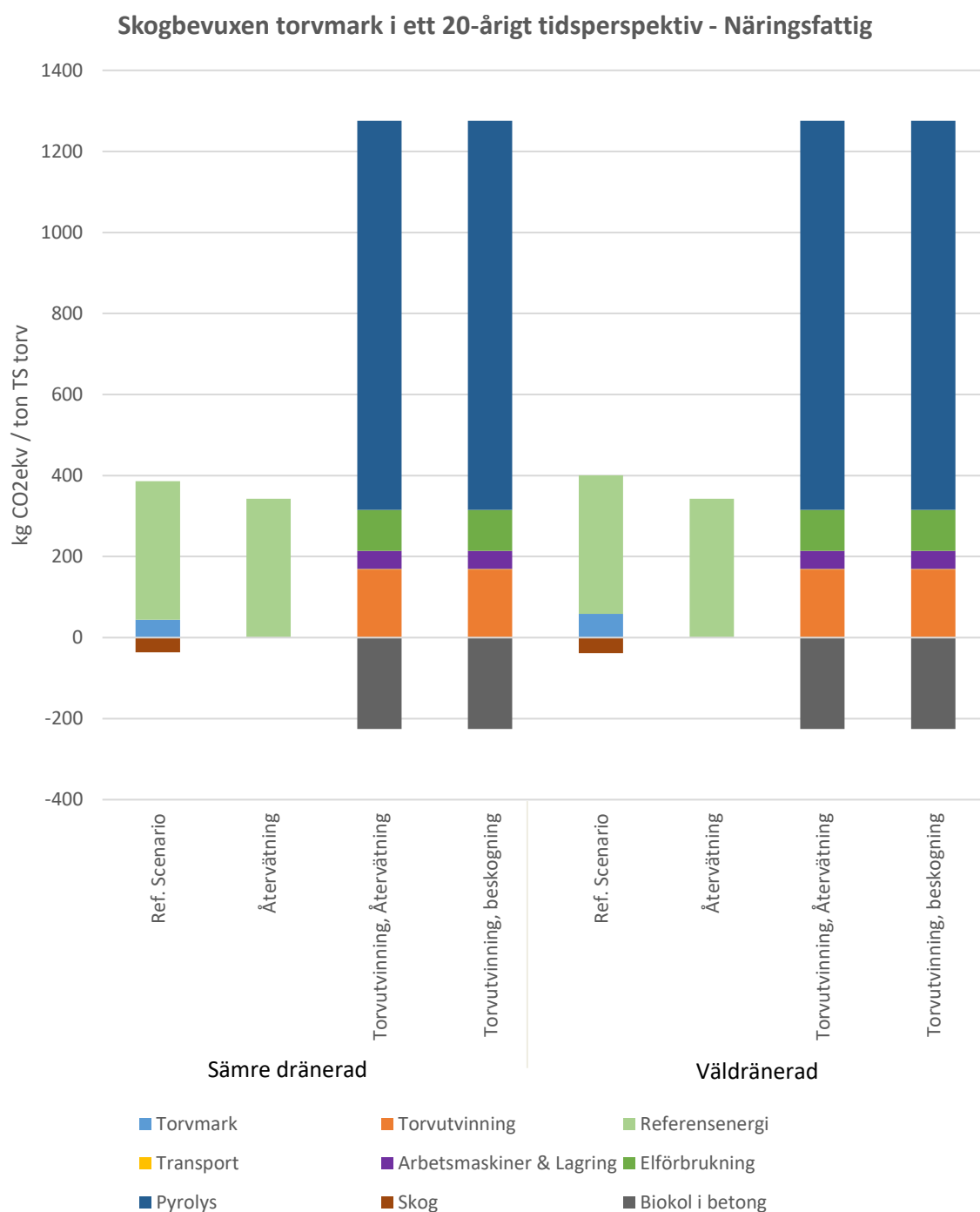
Tabell 1. Bonitet vid olika ståndortsindex. m3sk/ha år.

<i>Tall</i>	<i>Ståndortsindex H100</i>										
H100	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Näringsfattig (kråkbär, ljugtyp eller sämre)	1,1	1,6	1,9	2,5	3,1	3,7	4,4	5,2	6,0	7,1	
Näringsrik (Lingon eller bättre)	1,4	1,9	2,4	2,9	3,6	4,3	5,1	5,9	6,8	7,7	8,8

Tabell 2. Indata till programmet Ingvar

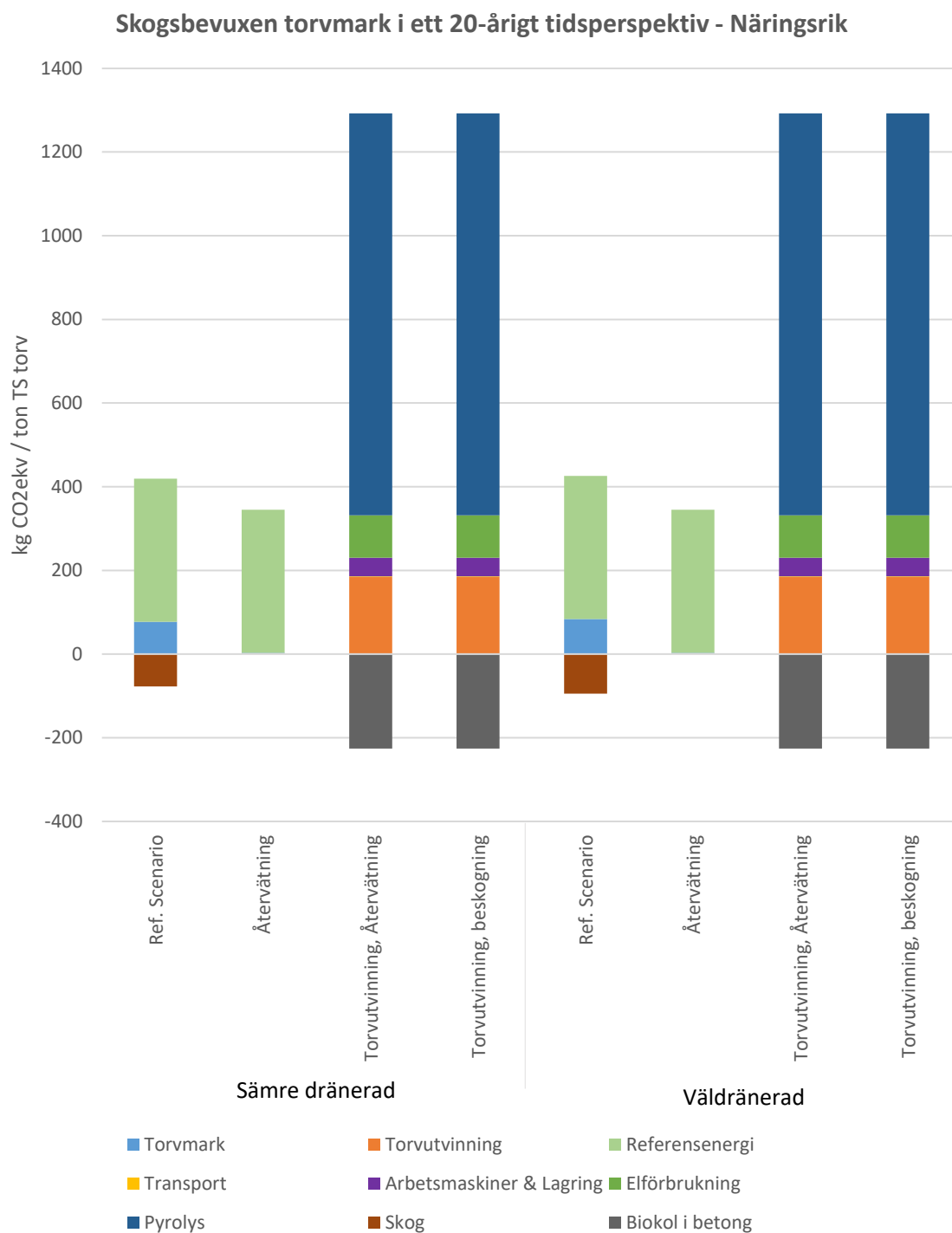
	<i>Medel grundyta (m2/ha) vid övre höjd 10 m</i>	<i>Totalålder vid övre höjd 10 m</i>	<i>Medel Stammar per ha</i>
<i>T16</i>	16	50	1500
<i>T18</i>	17	45	(1550)
<i>T20</i>	18	40	1600
<i>T22</i>	19	35	(1750)
<i>T24</i>	20	30	1900
<i>T26</i>	20,5	25	(2100)
<i>T28</i>	22	20	2300
<i>T30</i>	(22)	(20)	(2400)

Bilaga 4. Resultat för skogsbevuxen torvmark

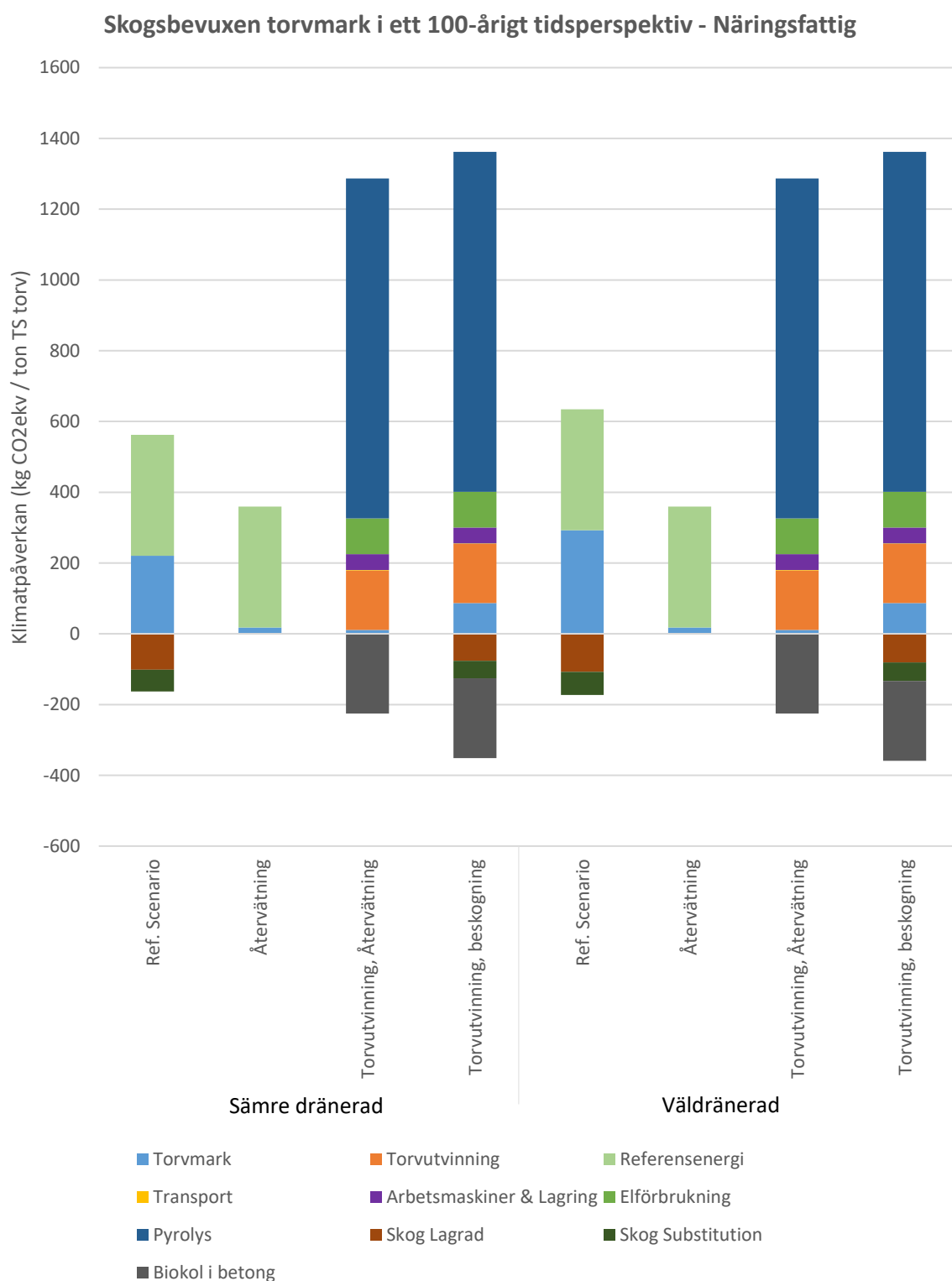


Figur 1. Fördelningen av de olika utsläppen i de olika scenarierna för skogsbevuxen torvmark som är näringsfattig. Då torvmarken är skogsbevuxen innebär att torvmarken är dränerad.

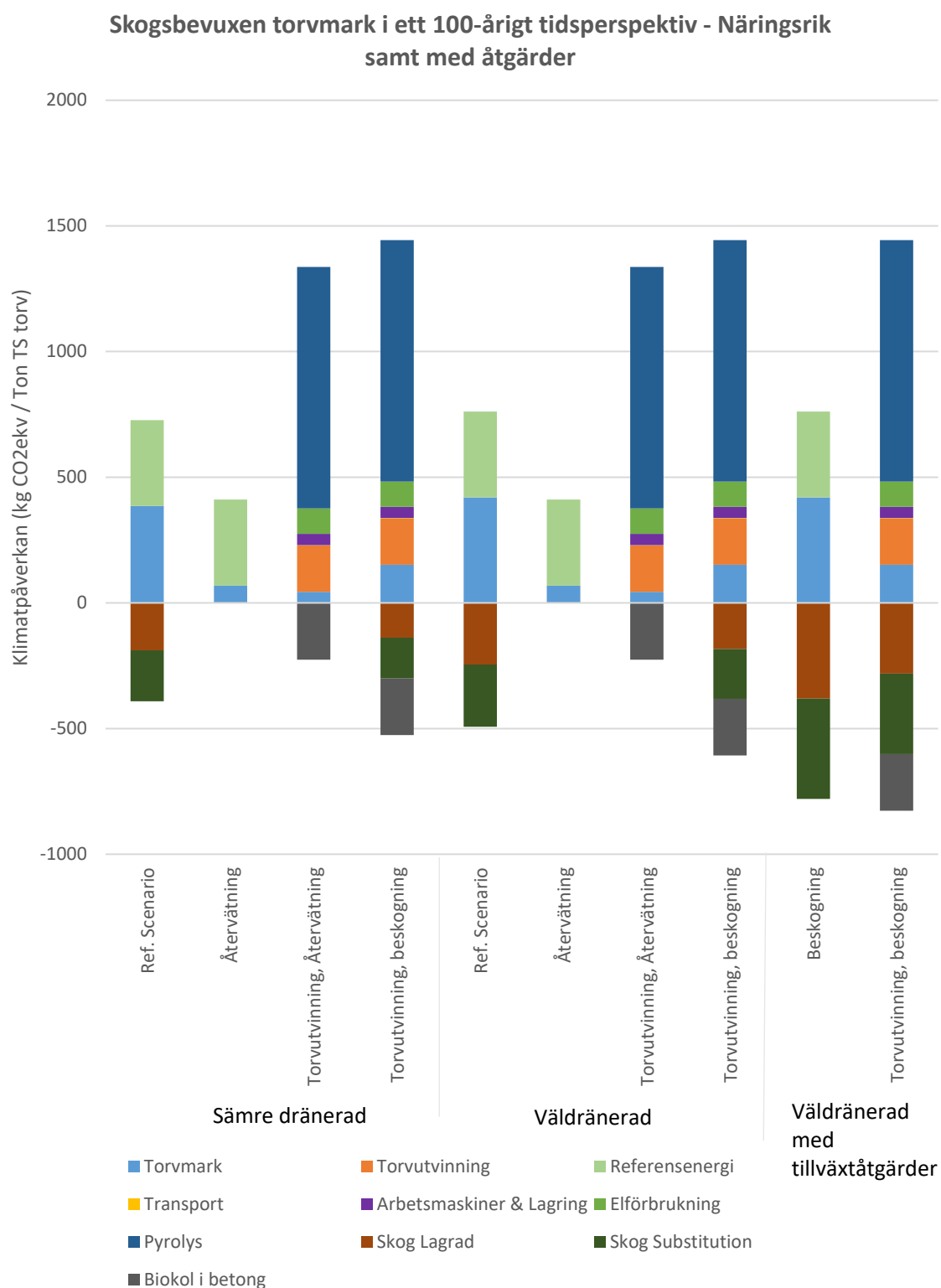
Referensscenariot är att lämna torvmarken i befintligt tillstånd och fortsätta bedriva skogsproduktion. Återvätning är att behandla torvmarken till våtmark. Torvutvinning är att pyrolysera torv med biokol som produkt som används i betong. Ett negativt värde minskar växthusgasutsläppen och ett positivt värde ökar växthusgasutsläppen.



Figur 2. Fördelningen av de olika utsläppen i de olika scenarierna för skogsbevuxen torvmark som är näringsrik. Då torvmarken är skogsbevuxen innebär att torvmarken är dränerad. Referensscenariot är att lämna torvmarken i befintligt tillstånd och fortsätta bedriva skogsproduktion. Återvätning är att behandla torvmarken till våtmark. Torvutvinning är att pyrolysera torv med biokol som produkt som används i betong. Ett negativt värde minskar växthusgasutsläppen och ett positivt värde ökar växthusgasutsläppen



Figur 3. Fördelningen av de olika utsläppen i de olika scenarierna för näringsfattig skogsbevuxen torvmark. Referensscenariot är att lämna torvmarken i befintligt tillstånd och inte göra någon åtgärd. Återvätning är att behandla torvmarken till våtmark. Torvutvinning är att pyrolysera torv med biokol som används i betong. Efter torvutvinningen så efterbehandlas torvmarken antingen via återvätning eller beskogning. Ett negativt värde minskar växthusgasutsläppen och ett positivt värde ökar växthusgasutsläppen



Figur 4. Fördelningen av de olika utsläppen i de olika scenarierna för näringsfattig skogsbevuxen torvmark samt med åtgärder. Referensscenariot är att lämna torvmarken i befintligt tillstånd och inte göra någon åtgärd. Återvätning är att behandla torvmarken till våtmark. Torvutvinning är att pyrolysera torv med biokol som används i betong. Efter torvutvinningen så efterbehandlas torvmarken antingen via återvätning eller beskogning. Ett negativt värde minskar växthusgasutsläppen och ett positivt värde ökar växthusgasutsläppen

Bilaga 5. Känslighetsanalys

Den totala känslighetsanalysen finns på nästa sida. Förkortningarna står ref. för referensscenario, Å. för återvätning, B. för beskogning, TU Å. för torvutvinning med efterbehandling återvätning och TU B. för torvutvinning med efterbehandling beskogning. Utsläpp 100 år är i enheten kg CO_{2ekv}/ton TS torv.

Känslighetsanalys			Fattig 100 år												Rik 100 år												Medelvärde, ej med åtgärder, 0 % Utes/lits
	Ändring av	Säme dränerad				Väldränerad				Säme dränerad				Väldränerad				Tillväxtåtgärder									
	Ref.	Å	B.	TU.Å	TU.B.	Ref.	Å	B.	TU.Å	TU.B.	Ref.	Å	B.	TU.Å	TU.B.	Ref.	Å	B.	TU.Å	TU.B.	B.	TU.B					
Utsläpp 100 år	-	525,2	359,3	399,5	1061,4	1013,5	583,0	359,3	461,3	1061,4	1005,6	662,2	411,1	336,3	1110,9	917,6	686,4	411,1	269,0	1110,9	836,9	-19,0	617,0				
Kolutbyte till biokol	Ökning med 10 %	0%	0%	0%	-9%	-9%	0%	0%	0%	-9%	-10%	0%	0%	0%	-9%	-10%	0%	0%	0%	-9%	-11%	0%	-16%	-9,55%			
	Minskning med 10 %	0%	0%	0%	9%	9%	0%	0%	0%	9%	10%	0%	0%	0%	9%	10%	0%	0%	0%	9%	11%	0%	16%	9,55%			
	Ökning med 10 %	0%	0%	0%	-2%	-2%	0%	0%	0%	-2%	-2%	0%	0%	0%	-2%	-2%	0%	0%	0%	-2%	-3%	0%	-4%	-2,24%			
Biokolbyte	Minskning med 10 %	0%	0%	0%	2%	2%	0%	0%	0%	2%	2%	0%	0%	0%	2%	2%	0%	0%	0%	2%	3%	0%	4%	2,24%			
Vattenhalt i biokol	Ökning med 10 %	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-0,23%			
	Minskning med 10 %	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0,23%			
Energimethall i torv	Ökning med 10 %	7%	10%	9%	1%	1%	6%	10%	8%	1%	1%	6%	9%	11%	1%	1%	5%	9%	14%	1%	1%	-14%	2%	5,69%			
	Minskning med 10 %	-7%	-10%	-9%	-1%	-1%	-6%	-10%	-8%	-1%	-1%	-6%	-9%	-11%	-1%	-1%	-5%	-9%	-14%	-1%	-1%	194%	-2%	-5,69%			
Torv TS i torvtvätt	Ökning med 10 %	-3%	0%	-1%	-2%	-2%	-4%	0%	-2%	-2%	-2%	-4%	-2%	0%	-2%	-1%	5%	-2%	2%	-2%	0%	-17,2%	3%	-1,66%			
	Minskning med 10 %	4%	1%	2%	2%	2%	5%	1%	3%	2%	2%	5%	2%	0%	3%	1%	6%	2%	-3%	3%	0%	211%	-4%	2,02%			
Tillväxt med åtgärd	Ökning med 10 %	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	410%	-10%	-			
	Minskning med 10 %	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-410%	10%	-			
Arbetsmaskiner och lagring	Ökning med 10 %	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	1%	0,44%			
	Minskning med 10 %	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-1%	0%	-1%	-0,44%			
	Ökning med 10 %	7%	10%	9%	0%	0%	6%	10%	7%	0%	0%	5%	8%	10%	0%	0%	5%	8%	13%	0%	0%	-180%	0%	8,09%			
Energibalans	Minskning med 10 %	-7%	-10%	-9%	0%	0%	-6%	-10%	-7%	0%	0%	-5%	-8%	-10%	0%	0%	-5%	-8%	-13%	0%	0%	180%	0%	-8,09%			
Vattenhalt i styckestorv	Ökning med 10 %	-1%	-1%	-1%	0%	0%	-1%	-1%	-1%	0%	0%	-1%	-1%	-1%	0%	0%	-1%	-1%	-2%	0%	0%	26%	0%	-0,77%			
	Minskning med 10 %	1%	1%	1%	0%	0%	1%	1%	1%	0%	0%	1%	1%	1%	0%	0%	1%	1%	2%	0%	0%	-23%	0%	0,68%			

SLU
Institutionen för energi och teknik
Box 7032
750 07 UPPSALA
Tel. 018-67 10 00
pdf.fil: www.slu.se/energioghteknik

SLU
Department of Energy and Technology
P. O. Box 7032
SE-750 07 UPPSALA
SWEDEN
Phone +46 18 671000